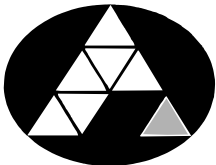



POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Metsätalouden koulutusohjelma

Harri Ahonen

**Rakeistetun tuhkalannoitteen leviäminen maakonelevityksessä**

Opinnäytetyö  
25.2.2011

 <p>POHJOIS-KARJALAN AMMATIKORKEAKOULU</p>	<p><b>OPINNÄYTETYÖ</b> <b>Helmikuu 2011</b> <b>Metsätalouden koulutusohjelma</b></p> <p>Sirkkalantie 12A 80100 JOENSUU p. (013) 260 6906</p>
<p><b>Tekijä</b> Harri Ahonen</p>	
<p><b>Nimeke</b> Rakeistetun tuhkalannoitteen leviäminen maakonelevityksessä</p> <p><b>Toimeksiantaja</b> Fa Forest Oy</p>	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka kattavasti kolme erilaista rakeistetun tuhkalannoitteen levitykseen soveltuvaa metsätraktoria levittävät lannoitteen käyttäen ensiharvennuksen yhteydessä syntynyttä ajouraverkostoa. Lisäksi selvitettiin, millaista puuston lisäkasvua maakonelevityksenä toteutettu tuhkalannoitus tuottaa tutkimuksen kohteena olevalta lannoitetyömaalta. Tutkimuksen avulla annetaan lisätietoa lannoitetyömaiden suunnitteluun työnlaadun parantamiseksi. Tutkimuksessa selvitettiin myös Fa Forest Oy:n (Liperin Ahonkylän ja Viitasaaren) tehtaissa eri prosessein rakeistettujen tuhkalannoitteiden toimivuutta maakonelevityksessä tuotekehittelyn edistämiseksi.</p> <p>Tutkimus toteutettiin mittaamalla lannoitekoneiden levitysleveydet koealacentällä sekä simuloimalla toteutunut tuhkalannoitus paikkatietojärjestelmässä GPS-jälkenä olevan ajouraverkoston päälle.</p> <p>Maakonekylvönä rakeistetun tuhkalannoitteen levittäminen onnistuu keskimäärin hyvin. Lannoitustyön tulosta voidaan parantaa merkittävästi, kunhan ajouraverkosto suunnitellaan tuhkalannoitteen maakonekylvöä ajatellen. Ajourat tulisi hakata aina sarkojen päähän asti sekä lisätä leveämpiin kohtiin ajourien määrää kattavan ajouraverkoston saamiseksi. Eri tehtaissa valmistettujen tuhkalannoitteiden soveltuvuudessa oli huomattava ero. Tehtaassa 1 tulisikin siirtyä samankaltaiseen rakeistusprosessiin kuin tehtaassa 2.</p> <p>Kuljettajien kyky tarkkailla työnsä tulosta on heikko, joten kuljettajien omaan lannoitustyön laadun tarkkailuun tulisi jatkossa kiinnittää enemmän huomioita.</p>	
<p><b>Kieli</b> suomi</p>	<p><b>Sivuja</b> 46 <b>Liitteet</b> 1 <b>Liitesivumäärä</b> 1</p>
<p><b>Asiasanat</b> Metsälannoitus, tuhkalannoitus, rakeistettu tuhkalannoite, tuhkalannoitteen maakonekylvö</p>	

 <p>NORTH KARELIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</p>	<p><b>THESIS</b>  <b>February 2011</b>  <b>Degree Programme in Forestry</b>  Sirkkalantie 12A  FIN 80100 JOENSUU  FINLAND  Tel. 358-13-260 6906</p>	
<p><b>Author</b> Harri Ahonen</p>		
<p><b>Title</b> Spreading of Granulated Ash Fertilizer by Forest Tractor</p> <p><b>Commissioned by</b> Fa Forest Oy</p>		
<p><b>Abstract</b></p> <p>The research clarified how comprehensively granulated ash fertilizer can be spread by three different but suitable models of forest tractors if they use a network of ruts made for the first thinning. Moreover, it was clarified what kind of additional growth of growing stock in the sample plot is achieved by ash fertilization using forest tractors. By means of the research, additional information is provided for planning of fertilizer areas to improve the quality of work. The research also investigated the suitability of three different granulated ash fertilizers for spreading by forest tractors. All the fertilizers used were produced by Fa Forest Oy. The research also investigated the performance of ash fertilizers made by different granulation processes in Fa Forest Oy factories. The results give possibilities to promote research and development.</p> <p>The research was carried out by measuring the spreading widths of the fertilizing machines in the sample plot and by visualizing the actualized ash fertilization in the geographic information system by GPS-track based on the network of ruts.</p> <p>The spreading of granulated ash fertilizer succeeds quite well by forest tractors. However, the results of fertilization can be significantly improved if the network of ruts is planned for using forest tractors in the spreading work of ash fertilizer. The ruts should always be open to the end of strips, and the number of ruts should be increased in the wider strips to ensure a comprehensive network of ruts. There were considerable differences in the suitability of ash fertilizers between factories. Factory 1 should introduce a similar granulating process to that in factory 2.</p> <p>The drivers' ability to control the results of their work is poor. It would be necessary to pay more attention to the drivers' own quality control in the future.</p>		
<p><b>Language</b> Finnish</p>	<p><b>Pages 46</b>  <b>Appendices 1</b>  <b>Pages of Appendices 1</b></p>	
<p><b>Keywords</b> Forest fertilization, ash fertilization, granulated ash fertilizer, spreading of ash fertilizer by forest tractor</p>		

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1 JOHDANTO .....	6
2 TUHKALANNOITUKSEN HISTORIAA .....	7
2.1 Tuhkankäyttö kaskiviljelyssä .....	7
2.2 Ensimmäiset tilastoidut tuhkalannoituskokeet .....	7
3 TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUKSET .....	8
3.1 Tuhkan vaikutus maaperän happamuuteen .....	8
3.2 Vaikutukset maaperän mikrobitoimintaan ja ravinteikkuuteen .....	8
3.3 Tuhkalannoitteen vaikutus puustonkasvuun turvemaidella .....	10
3.4 Tuhkalannoitukseen soveltuvat metsätyypit .....	11
3.5 Lainsäädäntö .....	11
4 TUHKALANNOITTEEN MAAKONELEVITYS.....	12
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TOTEUTUS .....	15
6 TUTKIMUSAINESTON KERUU JA HANKINTA .....	16
6.1 Ajankohta .....	16
6.2 Koealacenttä.....	16
6.3 Ajouraverkosto, lannoitussuunnitelma ja kartat.....	18
7 TUTKIMUSAINESTON KÄSITTELY .....	18
7.1 Lannoitusleveyksien laskenta .....	18
7.2 Ajouraverkosto.....	21
7.3 Lannoitusala .....	24
7.4 Lannoituksen toteutuminen.....	25
7.5 Metsien lisäkasvun laskenta.....	25
7.6 Metsäöjiin lentävä lannoitemäärä .....	26

8 TULOKSET .....	26
8.1 Lannoitekone 1 .....	27
8.2 Lannoitekone 2.....	29
8.3 Lannoitekone 3.....	31
8.4 Tehtaan 1 tuotteella toteutettu tuhkalannoitus .....	33
8.5 Tehtaan 2 tuotteella toteutettu tuhkalannoitus .....	35
8.6 Metsiköstä saatavat vuotuiset puustonkasvut .....	37
8.7 Tuhkalannoitteen määrä ojien suojavyöhykkeellä.....	38
9 TULOSTEN TARKASTELU .....	39
9.1 Maakonekylvön kokonaisarviointi.....	39
9.2 Ajouraverkoston arviointi .....	40
9.3 Ojien suojavyöhykkeille lentävä tuhkalannoitteen määrä.....	41
10 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	42
11 TULOSTEN ARVIOINTI .....	43
LÄHTEET.....	45
LIITE	
Koealatietolomake	

## 1 JOHDANTO

Tuhkalannoituksella saatava puuston lisäkasvu ja taloudellinen tuotto riippuvat lannoituksen onnistumisesta. Tuhkan voimakas emäksisyys nostaa pintaturpeen pH- arvoa ja vilkastuttaa maan mikrobitoimintaa, jolloin karikkeen maatuminen voimistuu. Orgaanisen aineen hajoamisesta ja ennen kaikkea typen vapautumisesta sekä tuhkalannoitteen tuomasta suorasta ravinnelisän johdosta kasvien kasvu kiihtyy. Tuhkalannoitus lisääkin puustonkasvua turvemailla keskimäärin 2 - 4 m<sup>3</sup>/ha vuodessa.

Turvemailla tuhkalannoitteen kasvua parantavavaikutus kestää useita kymmeniä vuosia. Parhaimmat kasvunlisäykset tuhkalannoitteella saa lannoittamalla juuri ensiharvennettuja turvemaan metsiä. Puun palaessa typpi haihtuu savukaasujen mukana ilmakehään, tämän vuoksi tuhka ei sisällä typpeä ollenkaan. Turvemailla typpeä on sitoutunut orgaaniseen ainekseen, mutta puutetta on usein kivennäisravinteista. Kangasmailla kasveille tärkeistä ravinteista eniten puutetta on typestä, eikä typettömällä tuhkalannoitteella saada kangasmaidenpuustolle toivomaamme lisäkasvua.

Yleisesti tuhkalannoitetta levitetään metsiin helikopterilla tai metsätraktorin päälle asennetulla lannoitelevittimellä. Lannoitteen tasainen leviäminen lannoitettavaan metsikköön on edellytys suurimman lisäkasvun saamiseksi puustolle.

Fa Forest Oy on Suomen johtava tuhka- ja metsälannoitteiden kehittäjä ja käytännön toimija. Sain Fa Forest Oy:ltä opinnäytetyön toimeksiantona aiheen tutkia, kuinka kattavasti tuhkalannoite leviää metsätraktorileivityksessä. Opiskeltuani paikkatietojärjestelmiä liitin työhöni lisäksi MapInfo-ohjelmalla ja GPS-laitteiston avulla toteutetun lannoitelevityksen tarkastelun käytännön lannoitustyömaalta.

Tutkin opinnäytetyössäni, kuinka kattavasti tuhkalannoite leviää lannoitettavalle alueelle kolmella eri metsätraktorilla sekä kahdella eri tehtaan tuottamalla tuhkarakeella. Tutkimuksessa tarkastellaan metsätraktorilla suoritettua tuhkalannoitusta onnistumista suunnitellulla lannoitusalueella ja maakonelannoituksella näin saavutettavaa puuston teoreettista lisäkasvua. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan harvennuksessa käytetyn ajouraverkoston soveltuvuutta tuhkalannoitukseen.

## **2 TUHKALANNOITUKSEN HISTORIAA**

### **2.1 Tuhkankäyttö kaskiviljelyssä**

Ehkä varhaisimmin tuhkan maaperää ja viljavuutta parantavat vaikutukset huomasivat kaskiviljelijät. Suomessa kaskiviljelyä on harrastettu jo noin 2000 – 2400 eKr. (Havas, 2007). Kaskiviljelyssä kaskettavan alueen puut kaadettiin maahan ja poltettiin. Näin ravinteet saatiin viljelykasvien käyttöön. Kaskesta saadut viljasadot ovat olleet moninkertaisia parina ensimmäisenä kaskenpolton jälkeisenä vuonna verrattuna peltoon.

Kaskiviljely tarvitsee paljon pinta-alaa, sillä kun muutaman viljelyvuoden päästä kasken ravinteet köyhtyivät viljelykasveille sopimattomaksi, viljelyalue hylättiin ja tilalle piti raivata uusi kaskimaa. Hylätyt kaskimaat metsittyivät nopeasti ja puut hyötyivät kaskeamisesta saaduista ravinteista, jolloin kasvukin on ollut nopeaa. Vielä 1700-luvulla kaskeaminen oli yleisin maanviljelystekniikka Suomessa. (Wikipedia vapaa tietosanakirja, 2010).

### **2.2 Ensimmäiset tilastoidut tuhkalannoituskokeet**

Vanhimmat tilastoidut puutuhkakokeet on perustettu Ruotsissa vuonna 1910. Varsinkin tuhkan todettiin lisäävän puuston kasvua. Tunnettuja ovat Norra ja Södra Hällmyrenin Uumajan lähistölle avosuolle perustamat kokeet. Ruotsista tieto siirtyi Suomeen, ja ensimmäiset tuhkakokeet perustettiin vuonna 1937. Ennen 1960-lukua tuhkakokeita Suomessa oli perustettu jo noin kolmekymmentä kappaletta. (Finér, Leinonen & Jauhiainen 1996, 14). Tällä hetkellä tuhkalannoituskokeita on perustettu Suomeen jo yli sata koealaa (Räisänen, 2010.)

### 3 TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUKSET

#### 3.1 Tuhkan vaikutus maaperän happamuuteen

Tuhkalannoite vähentää kangasmailla humuskerroksen ja turvemailla pintaturpeen happamuutta selvästi. Muutokset rajoittuvat noin kymmenen senttimetrin pintakerrokseen ja näkyvät voimakkaana vielä 17 vuoden kuluttua levityksestä. (Issakainen & Moilanen 2003, 73). Metsätieteen aikakausikirjan 1/2009 mukaan, erilaisille kangasmaille levitetty 3 000 kg:n/ha tuhkalannoitemäärä nosti humuskerroksen pH:ta seitsemän vuoden kuluessa 1,1-1,5 pH-yksikköä. 16 vuoden kuluttua pH-arvo oli vielä 0,6-1,0 pH-yksikköä korkeampi kuin lannoittamattomilla vertailualoilla. Puutuhkan pH-arvo on useimmiten 12-13 ja sen neutralointikyky on kalkkiin verrattuna yleensä hieman heikompi. (Finér ym. 1996, 10.)

Äkilliset ja voimakkaat pH:n muutokset voivat olla haitallisia maan biologiselle toiminnalle. Tuhkan levityksen jälkeisen pH-shokkitilan välttämiseksi puutuhkaa ei suositella levitettävän kerta-annoksena 3 000 kg/ha enempää. (Kukkola & Saarisalmi 2009, 64). Tuhkan vaikutus maaperän neutralisointikykyyn on nopeaa verrattuna esimerkiksi kalkkiin. Neutralointikyky perustuu etenkin tuhkan K- ja Na-oksideihin ja karbonaatteihin, jotka ovat helposti liukenevia. Rakeistettu tai kovetettu tuhkalannoite liukenee irtotuhkaa hitaammin, joten näiden lannoitteiden pH-vaikutukset ovat lievemmat. (Issakainen & Moilanen 2003, 74.)

#### 3.2 Vaikutukset maaperän mikrobitoimintaan ja ravinteikkuuteen

Puutuhkalla lannoittaminen vaikuttaa maan ravinnetasoon suorana ravinteiden lisäyksenä ja mikrobitoiminnan vilkastumisesta johtuvana ravinteiden vapautumisena. Tuhkan neutraloivavaikutus kiihdyttää maan mikrobitoimintaa, jolloin karike maatuu nopeammin. Hajoavasta karikkeesta vapautuu ravinteita puiden käyttöön. Myös vaateliaiden kenttäkerroksen kasvien määrä lisääntyy tuhkalannoituksen seurauksena. Turvemailla on yleensä runsaasti typpeä, mutta usein puustonkasvun rajoittavana tekijänä on fosforin ja kaliumin niukkuus. Tuhka sisältää runsaasti fosforia ja kaliumia, joten turvemaan lannoitteena tuhka on erinomainen. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 11, 17.)



Lannoitteina lisättävistä kasvinravinteista puut käyttävät eniten typpeä (N), toiseksi eniten kaliumia (K) ja kolmanneksi eniten fosforia (P). Karkeasti suhde on 100 : 11 : 33 (N:P:K). Rämeyden turpeessa näiden ravinteiden suhde on noin 100 : 3 - 4 : 1 - 3. Turvemailla puuston fosforin tarve on suunnilleen kolminkertainen turpeen sisältämään fosforiin verrattuna. Mikrobitoiminta vapauttaa typpeä ja fosforia suunnilleen samassa suhteessa kuin niitä esiintyy turpeessa. Tästä syystä on luonnollista, että turvemailla on puutetta fosforista. Kalium ei ole sitoutuneena orgaaniseen aineeseen, joten sen saatavuus ei ole riippuvainen mikrobitoiminnasta.

Suurella osalla soita, etenkin paksuturpeisilla rämeillä ja nevoilla kaliumia on kuitenkin vähän verrattuna puustoon sitoutuviin määriin, eikä sen määrä turpeessa ole sidoksissa turpeen typpeen samoin kuin fosforinkaan määrään. Myös booria turpeessa on vähän. Seurauksena turvemailla on se, että kivennäisravinteiden niukkuus rajoittaa eniten puuston kasvua. Puuntuhka sisältää kivennäisravinteita samassa suhteessa, kuin puut niitä kasvualustastaan ottavat ja se edustaa näin yleensä tasapainoista kivennäisravinteiden suhdetta. (Finér ym. 1996, 14.)

Alla olevassa listauksessa esitetään Ecolan T-4000 -tuhkalannoitteen kokonaisravinnemäärät kuiva-aineessa.

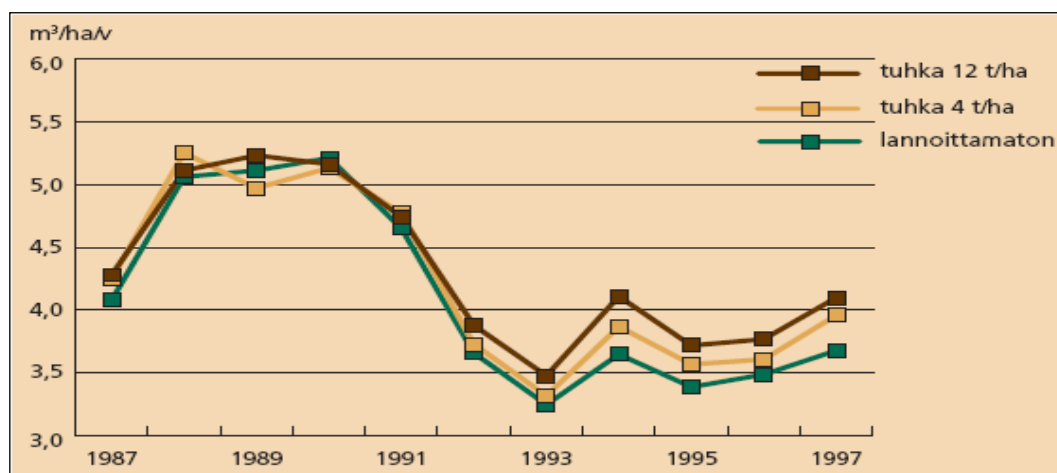
### **Ecolan® T-4000 -metsätuhka**

#### **Ravinteet (kuiva-aineessa):**

Kokonaisfosfori (P)	0,9 % - 1,1 %
Vesiliukoinen fosfori	0,05 %
Kokonaiskalium (K)	2,6 %
Kokonaiskalsium (Ca)	14 - 17 %
Magnesium (Mg)	1,2 %
Boori (B)	0,02 %
Kupari (Cu)	0,01 %
Rauta (Fe)	1,5 %
Mangaani (Mn)	0,6 %
Sinkki (Zn)	0,2 %

(Fa Forest Oy, 2010)

Kangasmailla suurin puustonkasvua rajoittava tekijä on typen puute. Puun palaessa typpi kaasuuntuu ja haihtuu pois, ja tämän vuoksi tuhka ei sisällä typpeä. Tuhkalannoite ei helpota myöskään kangasmailla olevan typen saantia, joten tuhkalannoituksella saateen jopa heikentää puustonkasvua kangasmailla. (Finér ym. 1996, 23; Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 14, 15.)

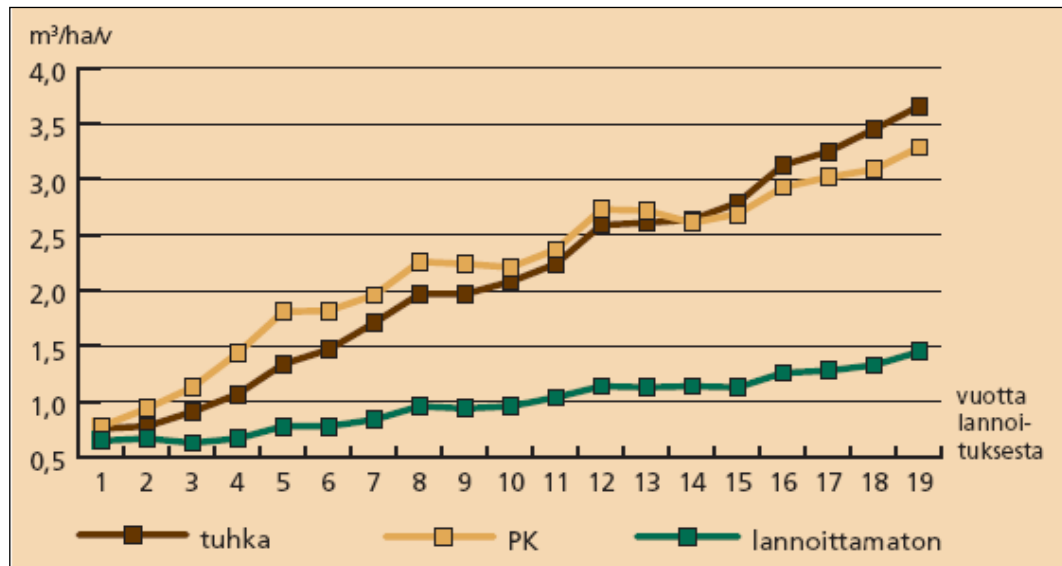


**Diagrammi 1** Tuhkalannoitteen vaikutus kasvuun kangasmailla (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008)

### 3.3 Tuhkalannoitteen vaikutus puustonkasvuun turvemailla

Tuhkalannoitteen tuoma ravintolisä ja neutralointivaikutuksesta johtuva mikrobitoiminnan kiihtyminen vapauttaa ravinteita turvemaalla puuston käyttöön. Puuston kasvu voimistuu runsastyyppisillä kasvupaikoilla tuhkalannoituksen seurauksena 2 - 3 vuoden kuluessa. Niukempityyppisissä kohteissa selvä kasvun voimistuminen havaitaan vasta viiden vuoden kuluttua. Mitä enemmän turpeessa on typpeä, sitä enemmän tuhkalannoite tuottaa lisäkasvua. Oikein valituilla kohteilla puuston lisäkasvu voi olla 2-4 m³/ha/v. Rämemännikössä yhdellä lannoituskerralla on voitu lisätä nuorien puustojen kasvua 100 - 200 m³/ha, käytännössä kasvun lisäys on ainakin 80 - 100 m³/ha.

Ensimmäisinä vuosina lannoituksen jälkeen puutuhka vaikuttaa PK-lannoitetta hitaammin puustonkasvuun. Kasvuerot tasaottuvat kuitenkin noin kymmenessä vuodessa, jonka jälkeen tuhkaa saaneet puut kasvavat yhtä hyvin tai jopa paremmin kuin PK-lannoitetut puut. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 14, 15.)



Diagrammi 2 Tuhkalannoitteen vaikutus turvemilla (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008)

### 3.4 Tuhkalannoitukseen soveltuvat metsätyypit

Ensisijaisesti parhaita tuhkalanhoituskohteita ovat Mtkg II- ja Ptkg II-turvekangastyypin mäntyvaltaiset metsiköt, jotka täyttävät kunnostusojituksen edellytykset. Etelä-Suomessa parhaimmat tuotot saadaan rämemänniköstä. Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa runsastyypisillä kohteilla lannoituksella saadaan vielä hyvä tulos, ja Keski-Suomessa korpikuusikoiden lannoittaminen parantaa merkittävästi puuston kasvua. (Tapio, Hyvän metsänhoidon suositukset 2006, 64).

Tuhkalannoitukseen parhaiten soveltuvat metsätyypit ovat paksuturpeiset ja runsastyypiset turvemaat. Typeä on maassa sitä enemmän, mitä viljavampi kasvupaikkatyyppi on. Ennen tuhkalanhoitusta metsikköön tulee hakata ajourat ja tarvittaessa kunnostaa ojat.

### 3.5 Lainsäädäntö

Tuhkalannoite kuuluu lannoitelainsäädännön piiriin. Vuonna 2007 noin viidennes valvotuista tuhkalanhoitteista kiellettiin Eviran tekemien raskasmetallipitoisuus mittauksien perusteella. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 7.) Uusimman maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 19/09 mukaan metsiä saa lannoittaa tuhalla, kunhan

se on tuotettu puun, turpeen tai peltobiomassojen poltosta. Tuhka on kuitenkin kovetettava tai rakeistettava ennen käyttöä, eivätkä asetuksessa mainitut raskasmetallipitoisuudet saa ylittyä.

Tuhkalannoitteeseen voidaan lisätä booria, jonka määrä levityksessä ei saa olla enempää kuin 2,5 kg/h. Boori lisättyä tuhkalannoitetta saa käyttää ainoastaan todettuun boorin puutokseen. Tuhkalannoitetta johon on lisätty booria, ei saa levittää pohjavesi- eikä suojelualueilla. Tuhkalannoitteita ei saa myöskään levittää 25 m lähemmäs vesistöjä lisäksi lannoituksessa on otettava huomioon muut kunnan ympäristönsuojelumääräykset. (Maa- ja metsätalousministeriön asetus nro 19/09, 4).

## 4 TUHKALANNOITTEEN MAAKONELEVITYS

Fa Forest Oy:n aliurakoitsijat levittävät tuhkalannoitteen ajokoneen päälle asennetulla lannoitelevittimillä. Ajokoneen päälle nostetaan lannoitesäiliö, jonka perässä on lautaslevitin (kuvat 1 ja 2). Lautaslevittimellä tapahtuvassa tuhkalannoitelevityksessä lannoitteen määrä vähenee aina levitysalueen reunoja kohti.

Lannoiteurakoitsijoiden puhelinhaastattelusta selvisi se, että suurimmalla osalla urakoitsijoista tuhkalannoitteen kertalevitysleveyden tavoite on 26 - 30 metriä. Ajourat kulkevat metsässä noin 20 m:n välein, joten tuhkalannoitetta on tarkoitus levittää ristiin noin 3 - 5 metrin verran ajouravälien keskivaiheilla. Tällöin heikommin levittyneet reunatulevat lannoitetuksi paremmin. Yhdellä puhelinhaastatteluun sattuneista tuhkalannoitteen levitysyrittäjistä oli muista hieman poikkeava tyyli levittää tuhkalannoitetta. Tämä lannoiteurakoitsija tavoitteli tuhkalannan levitysleveytenä aina viereistä ajouraa, jolloin niin sanottu ristiin levitys toteutuu koko ajouravälille. (Knuutila, Siirilä & Valta. 2010).

Lannoitteita ei saa levittää vesistöihin. Näin ollen vesistöjen varsille on jätettävä 25 metrin lannoittamaton vyöhyke. (Maa – ja metsätalousministeriön asetus nro 19/09, 4). Jos tuhkaa ei joudu suoraan ojiin, ovat fosfori- ja raskasmetallihuuhtoumat tuhkalannoitusaloilla hyvin vähäiset. Tuhkan talvilevityskään ei aiheuta huuhtoutumia, jos ojien

varsille jätetään 1-2 metrin lannoittamaton vyöhyke. Kalium on tuhkassa helppoliukoisessa muodossa, ja sitä karkaa tuhkalannoitusaloilta helposti vesistöihin. Kaliumhuuhoutumia ei pidetä kuitenkaan vesistöjen kannalta haitallisina. (Nieminen, 2010).

Lannoitekoneen kuljettaja voi säätää lannoitelevittimensä lannoitusleveyttä tai levittää pelkästään vain toiselle puolelle ajouraa. Ojien ja vesistöjen varsille voidaan siten lannoitteen levityksen yhteydessä jättää tarvittavat suojavyöhykkeet. Metsäojille jätettävä suojavyöhyke on tuhkalannoitustyömailla yleisesti viisi metriä. (Räisänen 2010).

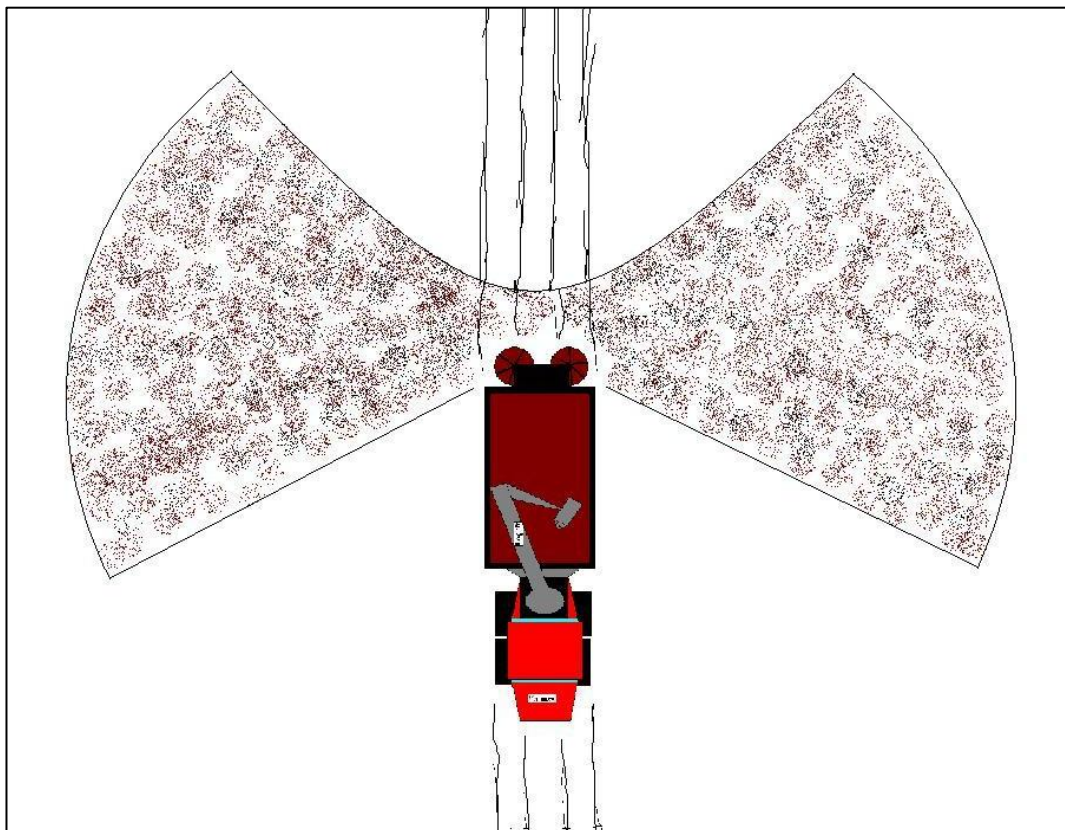


**Kuva 1 Lannoitelevittimen levitinlautaset (Kuva Harri Ahonen)**





**Kuva 2 Metsälannoitteenlevittämiseen varusteltu metsätraktori (Kuva Harri Ahonen)**



**Kuva 3 Lannoituskoneen tuhkarakeen levitysalue (Kuva Harri Ahonen)**

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TOTEUTUS

Fa Forest Oy:llä ei ole aiempaa tietoa kuinka tuhkalannoitus toteutuu maakonekylvönä, ja kuinka tasaisesti lannoite leviää maastoon. Tämä tutkimuksen tarkoituksena on antaa realistinen kuva, millaiseen lannoitustulokseen maakonekylvöllä voidaan tällä hetkellä päästä. Tutkimuksen tarkoituksena on myös antaa toimeksiantajalle tietoa lannoitetyömaiden suunnitteluun ja toteutukseen, sekä tietoa eri rakeistusprosessein valmistettujen tuhkalannoitteiden leviävyys eroista oikeanlaisen valmistusprosessin löytämiseksi.

Tutkimukseen osallistui kolme Fa Forest Oy:lle tuhkalannoituksia toteuttavaa urakoitsijaa Pekka Siirilä, Kai Valta ja Juha Knuutila. Tutkimuksessa verrattiin kahden tehtaan (Liperissä sijaitsevan Ahonkylän ja Viitasaaren) tuhkarakeistamon lannoitetuotteiden leviävyyttä maakone levityksessä, sekä selvitettiin miten kolme erilaista tuhkalannoitteen levitykseen soveltuvaa metsätraktoria voivat lannoittaa tutkimuksessa käytettävän tuhkalannoitustyömaan ensiharvennuksen yhteydessä syntyneeltä ajouraverkostolta. Tutkimuksella ei etsitä mikä koneista antaa parhaimman tuhkalannoitustuloksen vaan selvittää kuinka eri koneet levittävät tuhkalannoitetta lannoitusalueelle.

Viitasaarella ja Liperin Ahonkylän tuhkarakeistamoissa on ollut käytössä erilaiset tuhkan rakeistusprosessit. Tutkimuksella selvitettiin millaiset erot ovat kahden eri tehtaan tuhkalannoitteiden leviävyydessä maakonelevityksessä ja kummasta tehtaasta tulee tällä hetkellä paremmin maakonelevitykseen soveltuvaa rakeistettua tuhkalannoitetta. Tiedolla pyritään parantamaan tuhkalannoitteiden laatua tulevaisuudessa.

Tutkimuksessa mitatun leviämistiedon perusteella simuloidaan lannoitteen leviämistä harvennuksen yhteydessä syntyneeltä ajouraverkostolta paikkatietojärjestelmää apuna käyttäen, ja näytetään kuinka saman alueen tuhkalannoitus toteutuisi käyttäen eri koneita ja tuhkalannoitteita.

Tutkimuksessa ei selvitetä lannoituskoneiden teknisiä eroja, koska yksi tutkimuksessa mukana olevista lannoituskoneista oli Fa Forest Oy:n valmistama lannoitteen levitin, jonka ominaisuuksia ei saa julkaista. Tässä tutkimuksessa käytetään koneita ja tehtaita

erotellessa numeroita, joista ei voida yhdistää kenen koneella tuhkalannoite on levitetty tai mistä tehtaasta tuleva tuhkarae on peräisin.

## **6 TUTKIMUSAINEISTON KERUU JA HANKINTA**

### **6.1 Ajankohta**

Tuhkalannoituksia toteutetaan yleensä vain turvemailla. Turvemaat ovat usein pehmeitä ja maakonekylvö onnistuu parhaiten talvella maan ollessa routainen. Tutkimuksessa tarvittava aineisto kerättiin koealakentillä maaliskuussa 2010 Rautavaaran, Kiuruveden, Reisjärven ja Kannuksen Fa Forest Oy:n tuhkalannoitustyömailta.

### **6.2 Koealakenttä**

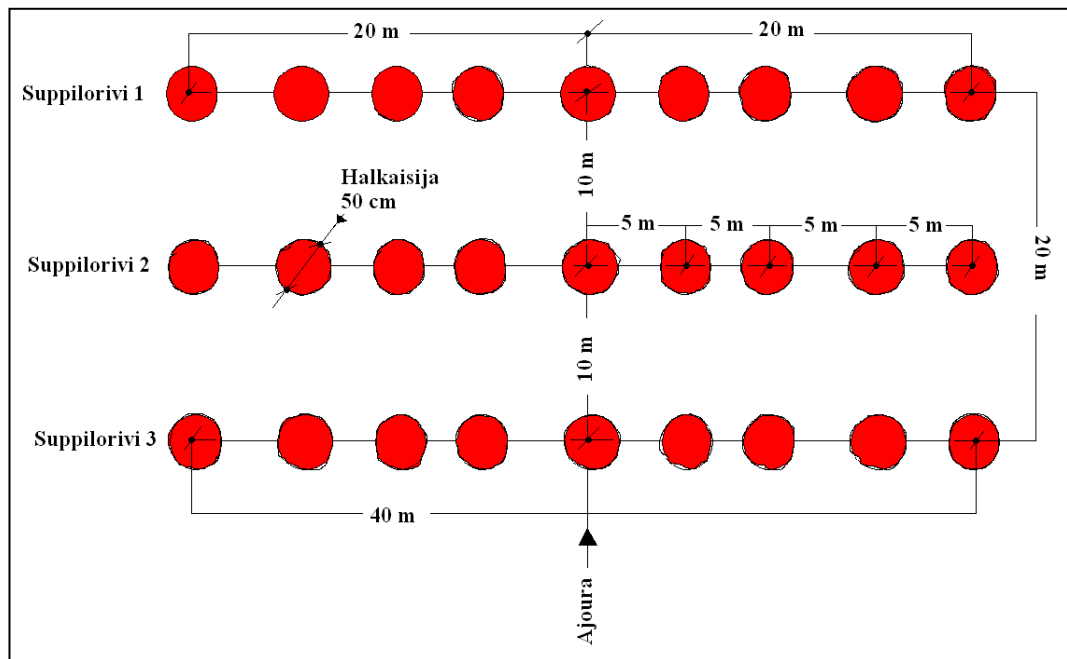
Tuhkalannoitteen leviämistä ja levitystasaisuutta mitattiin koealakenttien avulla. Koealakentälle sijoitettiin halkaisijaltaan 50 cm:n läpimittaisia lannoitteiden levitystasaisuuden tarkkailuun soveltuvia näytesuppiloita (kuva 5). Suppilon suun pinta-ala on 0,196 m<sup>2</sup>. Yksi gramma tuhkaa suppilossa vastasi siten 51,02 kiloa tuhkaa hehtaarilla.

Koealakenttä muodostui kolmesta 10 m:n välein olevasta suppilorivistä. Suppilorivi muodostui yhdeksästä näytesuppilosta, jotka sijoitettiin viiden metrin välein. Koealakentästä tuli siten 40 metriä leveä ja 20 metriä pitkä (kuva 4), ja se kattoi hyvin maakoneella suoritettua tuhkalannoitteen kertalevitysalueen. Keskimääräinen näytteenkeruussuppilo sijoitettiin ajouran keskelle ja suppilorivit sijoitettiin poikittain ajouraan nähden. Koealakentälle tuli näin ollen 27 tuhkalannoitetta keräävää suppiloa.

Lannoituksen yhteydessä tuhkalannoitetta lensi suppiloihin, joista lannoitteen määrä mitattiin punnitsemalla. Punnitseminen suoritettiin lannoitteiden punnitsemiseen tarkoitettulla 30 gramman puntarilla. Punnitessa tuhkanmäärää suppilosta saattoi yhdessä suppilossa olla enemmän lannoitetta kuin puntarilla pystyi kerralla mittaamaan. Tällaisissa tapauksissa useamman kerran punnitustulokset laskettiin yhteen, joista saatiin suppiloon jäänyt kokonaislannoitemäärä. Tuhkan määrä mitattiin yhden gramman tarkkuu-



della, ja hehtaarikohtaiseksi luvuksi muutettuna mittaustulos ilmoitettiin 50 kg:n/ha tarkkuudella.



Kuva 4 Koealakenttä (Kuva Harri Ahonen)



Kuva 5 Lannoitenäytteiden keräämiseen valmistettu kankainen suppilo keräys asennossa (Kuva Harri Ahonen)

### 6.3 Ajouraverkosto, lannoitussuunnitelma ja kartat

Tutkimuksessa käytettävä ajouraverkosto saatiin Fa Forest Oy:n lannoiteurakoitsijan metsätraktorin ajotietietokoneesta. Ajotietokoneelle tallennettiin lannoituksessa ajetut ajourat GPS-jälkenä, jota siistimällä loimme tutkimuksessa käytetyn ajouraverkoston.

Fa Forest Oy toimitti tutkimuksessa tarvittavan sähköisessä muodossa olevan lannoitus-suunnitelman Ruukin Naperonkaaralta. Metsäojien digitoimista varten tarvittavat maanmittauslaitoksen taustakartat asemoitiin koordinaattiristien avulla MapInfo Professional 7.5-paikkatietojärjestelmään.

## 7 TUTKIMUSAINESTON KÄSITTELY

### 7.1 Lannoitusleveyksien laskenta

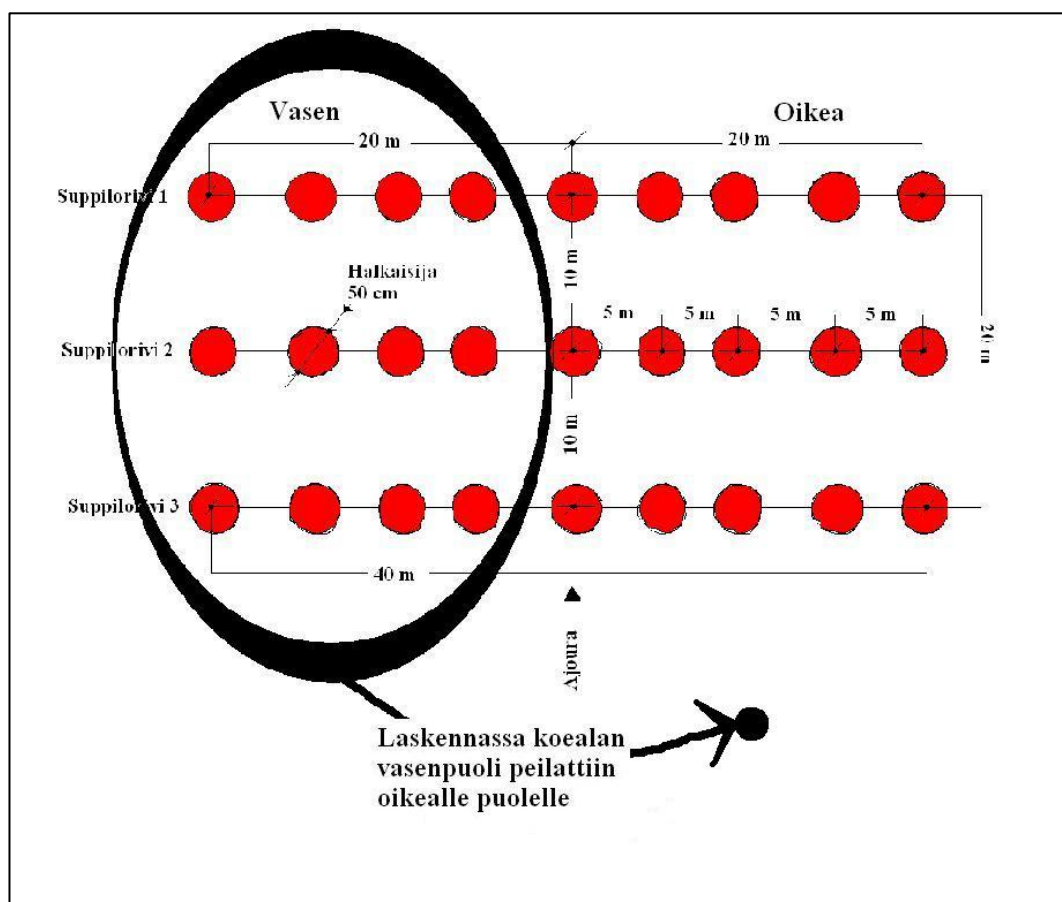
Kaikista tuhkalannoituskoneista laskettiin lannoituksen levitysetäisyydet kahteen levitysleveys pisteeseen. Näin laskettiin koealalentiltä kerätyistä tiedoista ne etäisyydet ajourasta, jonne asti tuhkalannoitetta lentää vielä tavoiteltu 4 000 kg hehtaarille, sekä etäisyys jolle leviää vielä vähintään 2 000 kg tuhkalannoitetta hehtaarilla.

Suunniteltu tuhkalannoitteen levitysmäärä on 4 000 kg/ha. Tämä lannoitteen tavoitemäärä tulee ylittyä, ennen kuin alue luokitellaan lannoittuneeksi alueeksi. Mikäli toteutunut levitysmäärä oli alle 4 000 kg/ha mutta yli 2 000 kg/ha, määriteltiin alue heikommin lannoittuneeksi. Heikommin lannoittuneiden alueiden mennessä päällekkäin saadaan yhteenlasketusta lannoitemäärästä yli 4 000 kg/ha. Päällekkäin menevillä alueilla tavoiteltu lannoitemäärä täyttyy, joten alueet otetaan huomioon lannoituksen onnistumista tutkittaessa. Mikäli lannoitemäärä jää alle 2 000 kg/ha, ei aluetta pidetä lannoitetuna, koska lannoituksen laaduntarkkailussakin yli 50 prosentin poikkeamat hylätään. Poikkeamaprosentti urakointisopimuksissa ei yleensä saa olla yli 30.

Lannoitelevityksen leveys laskettiin siten, että koealalentän vasenpuoli peilattiin oikealle puolelle (kuva 6). Koealaa peilaamalla voidaan laskea vain lannoitekoneen toiselle

puolelle lentävä tuhkalannoitteen määrä. Peilaamalla koealat havaintojen määrä kaksinkertaistuu, jolloin levityspeveyden laskennasta saadaan luotettavampaa. Koealan peilaus on mahdollinen koska lannoitelevittimen levitysjälki on symmetrinen molemmille puolin levityskonetta (kuva 3).

Paikkatietojärjestelmässä lannoitteen levityspeveys luodaan puskuritoiminnolla ajouraverkon päälle. Puskuritoiminto muodostaa määrätyn levyisen alueen joka suuntaan kohteen ympärille, joten tässäkin toiminnossa tarvitsimme tuhkalannoituksen levityspeveyden vain yhdeltä puolen ajokonetta.

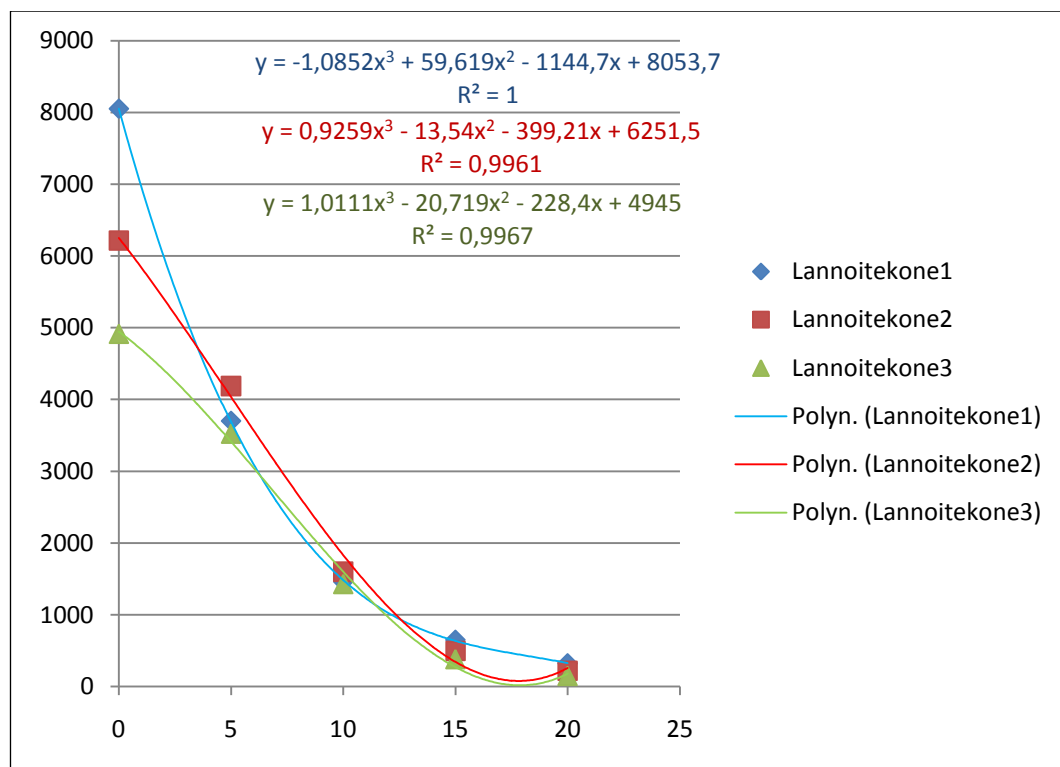


**Kuva 6 Koealan peilaus (kuva Harri Ahonen)**

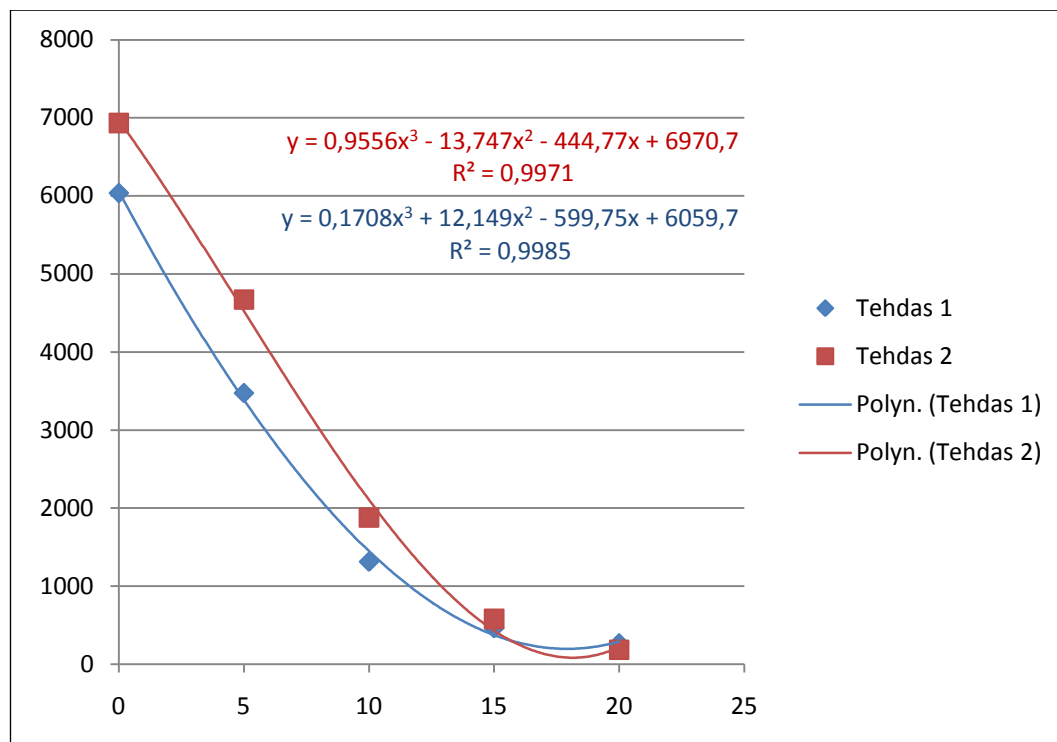
Koealoista laskettiin keskimääräinen tuhkalannoitteen määrä ajouralla (0 m), sekä 5 m, 10 m, 15 m ja 20 metrin päässä ajouralta. Nämä keskiarvot sijoitettiin pisteinä Excel taulukkolaskenta ohjelmassa X, Y koordinaatistoon. Keskiarvopisteisiin sovitettiin regressiokäyrä (kolmannen asteen polynomikäyrä) kuvaamaan tuhkalannoitteen leviämistä (kg/ha) etäisyyden funktiona (diagrammit 3 ja 4). Käyrän yhtälöä apuna käyttäen lasket-

tiin senttimetrin tarkkuudella etäisyydet, jolle ajouralta on lentänyt 4 000 kg ja 2 000 kg tuhkalannoitetta hehtaarille.

Käyränyhtälön selityssaste ( $R^2$ ) näkyy kaaviossa, ja kertoo kuinka hyvin tutkimuksessa käytetty kolmannen asteen polynominen käyrä kulkee keskiarvopisteisiin nähden. Tässä tutkimuksessa käyrien korrelaatiokerroin on kaikissa tapauksissa yksi tai hyvin lähellä yhtä, joten tuhkalannoitteen hehtaarikohtaisten kilomäärien ennustaminen etäisyyden funktiona ajouralta on hyvin luotettavaa.



**Diagrammi 3** Lannoituskoneiden tuhkarakeiden levitysleveydet, pystyakselilla tuhkalannoitetta kg/ha ja vaakakselilla etäisyys metreinä ajourasta (diagrammi Harri Ahonen)



**Diagrammi 4** Eri rakeistusprosessein valmistettujen tuhkarakeiden levityspevydet, pystyakselilla tuhkalannoitetta kg/ha ja vaakakselilla etäisyys metreinä ajourasta (diagrammi Harri Ahonen)

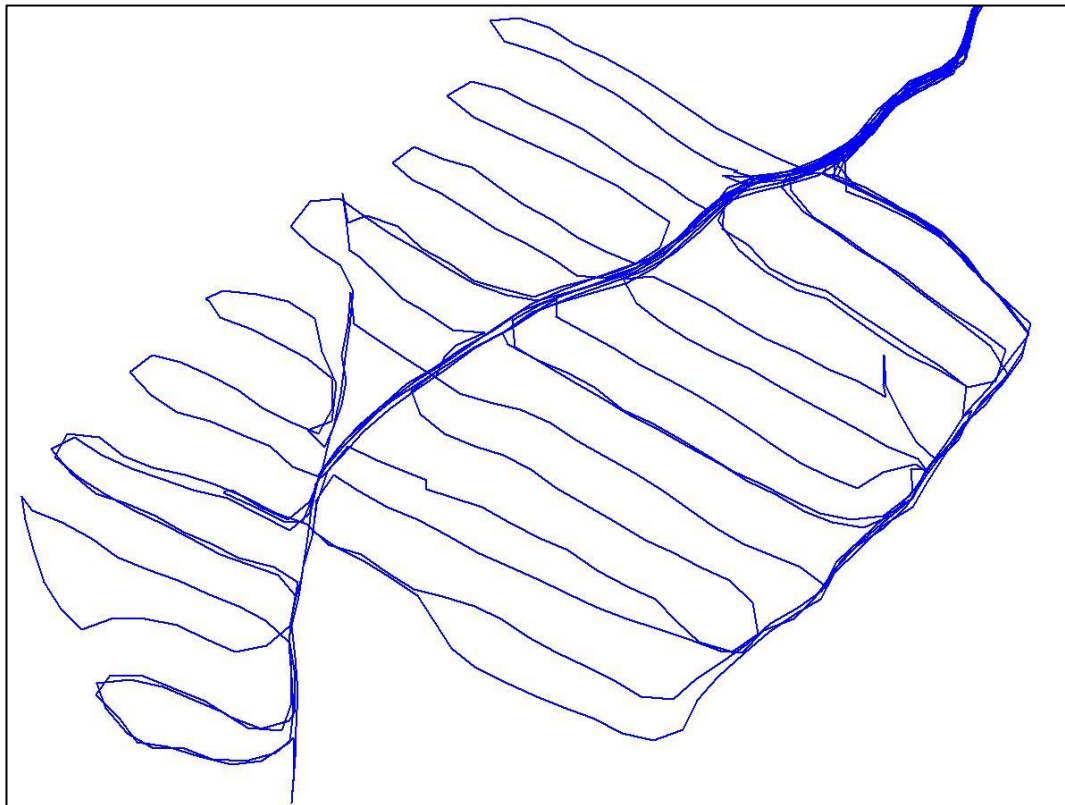
### Laskennalliset tuhkalannoitteen levityspevydet oikealle puolelle ajokonetta

	Yli 4 000 kg/ha	Yli 2 000 kg/ha
Levityskone 1	452 cm	840 cm
Levityskone 2	505 cm	958 cm
Levityskone 3	331 cm	835 cm
Tehdas 1	373 cm	835 cm
Tehdas 2	603 cm	1 024 cm

## 7.2 Ajouraverkosto

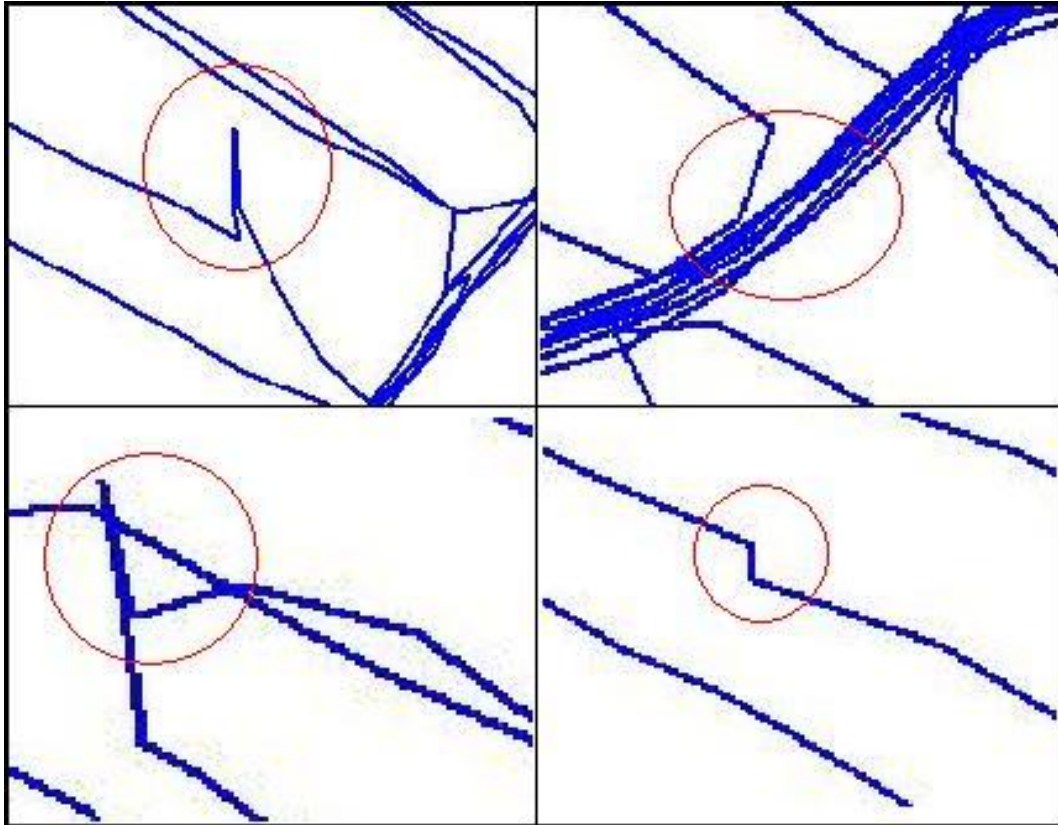
Tutkimuksessa käytetty ajouraverkosto saatiin lannoituksen suorittaneesta metsätraktorista. Metsätraktorin ajotietokoneelle tallennettiin lannoituksen yhteydessä ajatut ajourat GPS- jälkenä. Jälkeen tallentuu kaikki lannoituskoneella ajatut reitit yhtenäisenä viivana, joten GPS-data ei ole käyttökelpoista ennen kuin se on siistitty selkeäksi yhdeksi ajouraverkostoksi.

GPS-jälki editoitiin tähän tutkimukseen soveltuvaksi ajouraverkostoksi MapInfo Professional 7,5 ohjelmassa. Editoinnissa poistettiin useampaan kertaan ajettujen ajourien ylimääräiset viivat. Ajourien editoinnissa pyrittiin GPS- data pitämään mahdollisimman alkuperäisenä. Sellaiset kohdat joista lannoituskoneella ajettiin useita kertoja lannoituksen yhteydessä, ajoura sijoitettiin paikkatietojärjestelmässä silmämääräisesti jälkirypään keskelle ja ylimääräiset jäljet poistettiin. Lisäksi GPS-datassa olevat selkeät paikannusvirheet poistettiin ja paikannusvirheistä johtuvia jyrkkiä mutkia loivennettiin silmävaraisesti selkeäksi ajouraverkostoksi.

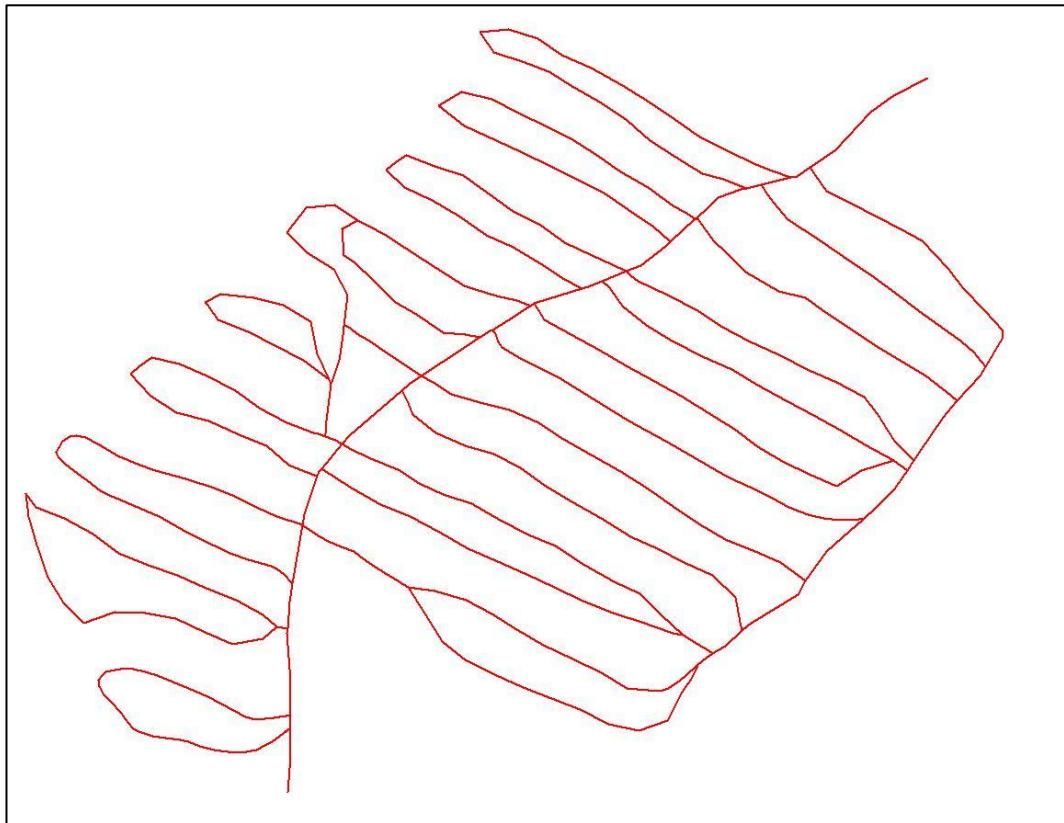


**Kuva 7 Lannoituskoneen ajotietokoneen tallentama GPS- jälki (Kuva Harri Ahonen)**





**Kuva 8** Kuvassa punaisella ympyröidyt kohdat ovat ajouraverkoston tallennuksessa tapahtuneita GPS- virhepaikannuksia, ja useaan kertaan ajettu ja tallentunut ajoura (Kuva Harri Ahonen)

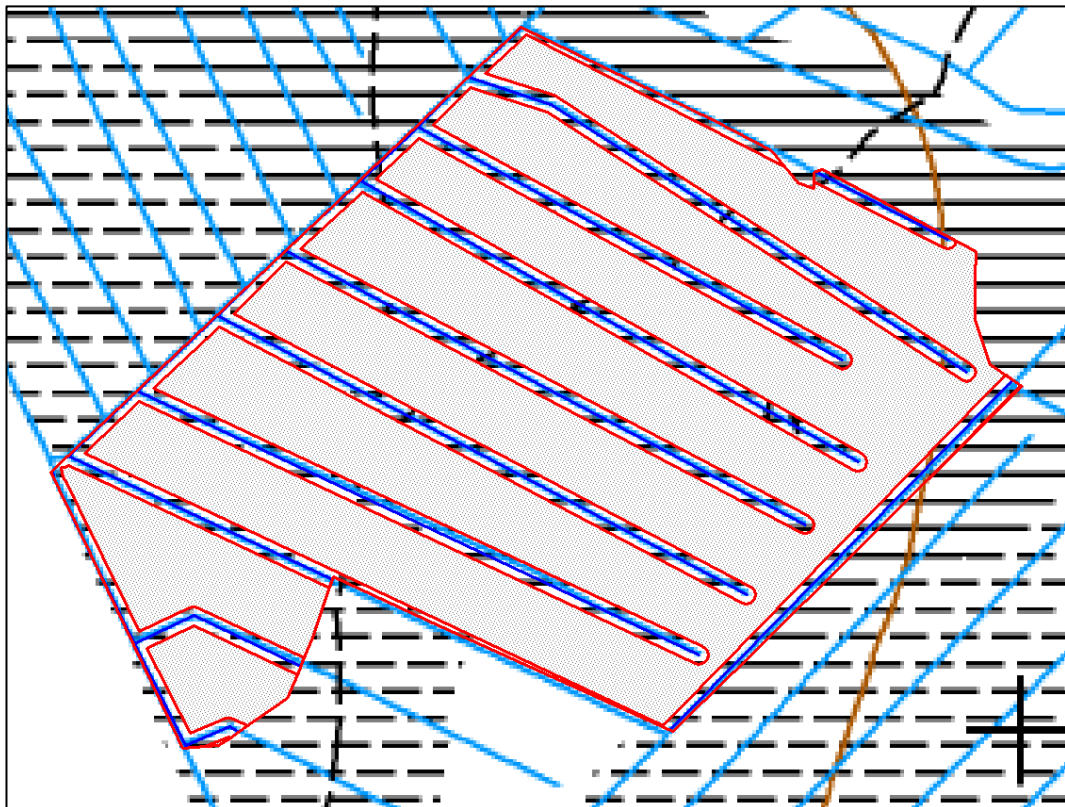


**Kuva 9** Ajourat editoinnin jälkeen (Kuva Harri Ahonen)

### 7.3 Lannoitusala

Tuhkalannoitetta levitetään yleensä ojitetuille turvemaille. Koska tuhkalannoitetta ei saa kylvää viittä metriä lähemmäs metsäoja, suunniteltu levitysalue on suurempi kuin ala, jolle tuhkalannoitetta todellisuudessa voidaan levittää.

Tässä tutkimuksessa käytettiin lannoitettavana alueena todellista lannoitusalaa. Todellinen lannoitusala on alue jonne tuhkalannoite voidaan lannoitusohjeiden mukaan levittää (kuva 10). Lannoitettava-ala laskettiin paikkatietojärjestelmässä siten, että metsäojat digitoitiin tuhkalannoituksen suunnittelualalta maanmittauslaitoksen peruskarttalehden päältä. Metsäojien päälle luotiin viiden metrin suojavyöhykepuskuri. Tällä puskurilla leikattiin suunniteltua lannoitusalaa, jonka erotuksena saimme todellisen lannoitettavan alan. Tässä työssä suunniteltu tuhkalannoitusala oli 12,34 ha. Metsäojien suojavyöhyke vei suunnitellusta lannoitusalasta 2,858 ha, joten todellista tuhalla lannoitettavaa alaa jäi 9,482 ha.



Kuva 10 Fa Forest Oy:n suunnittelema 12,34 ha tuhkalannoitetyömaa. Todellista lannoitusalaa on 9,482 ha, joka näkyy harmaana. Ojien suojavyöhykkeet vaativat 2,858 ha suunnitellusta lannoitus-alasta. (Maanmittauslaitoksen lupa 51/MML/11. Kuva Harri Ahonen)



## 7.4 Lannoituksen toteutuminen

Lannoituksen toteutuminen tutkittiin kaikilta kolmelta tutkimukseen osallistuneelta tuhkalannoituskoneelta. Lisäksi tutkimme kahdesta eri tehtaassa valmistettujen tuhkalannoitteiden leviämistä.

Se millaisia alueita kukin lannoituskone levitti hyvin, heikosti ja ei ollenkaan, tutkittiin paikkatietojärjestelmässä. Runkouralta lähtevä ja lenkinheittävä ajoura jaettiin kauimmaisesta kohdasta sekä runkouralta omaksi viivaksi, jolloin saimme luotua jokaiselle ajouralle oman puskurin. Oletuksena oli se että lannoitekone palatessaan takaisin runkouralle lannoittaa päällekkäin viereiseltä uralta tapahtunutta lannoitusaluetta. Tämä seikka otettiin huomioon ainoastaan heikommin 2 000 - 3 999 kg/ha lannoittuneella alueella. Näillä päällekkäin menevillä alueilla yhteen laskettu tuhkalannoitusmäärä on yli neljätuhatta kiloa hehtaarilla, joten ala laskettiin mukaan hyvin onnistuneeseen lannoitusalaan.

Lannoitusalueilla jaettiin todellista lannoitettavaa-alaa ja ojien suojavyöhykkeitä, jolloin saimme selville lannoittumattoman alueen pinta-alan, ja sekä niiden alueiden pinta-alat jotka olisivat metsäojien suojavyöhykkeellä. Tämä ei tarkoita että metsäojien suojavyöhykettä olisi lannoitettu, mutta tutkimus antaa tiedon millaisia määriä metsäojien suojavyöhykkeille voisi lannoituksen yhteydessä lannoitetta lentää, mikäli lannoitetta levitetään piittaamatta vesiensuojelumääräyksistä. Lannoitekoneen kuljettajalla on mahdollisuus säätää lannoitteen levitysleveyttä, joten suojavyöhykkeelle lentävä lannoitteen määrä riippuu kuljettajan lannoitekoneelle antamista säädöistä.

## 7.5 Metsien lisäkasvun laskenta

Metsien lisäkasvu laskettiin lannoittuneista alueista todelliselta lannoitusalueelta. Hyvin lannoittuneeksi alueeksi luettiin alueet, jonne lensi tuhkalannoitetta enemmän kuin 4 000 kg/ha. Heikommin lannoittuneeksi alueeksi luettiin alue jonne lensi tuhkalannoitetta alle 4 000 kg/ha mutta yli 2 000 kg/ha. Alle 2 000 kg hehtaarille lentäneitä alueita ei pidetty lannoittuneina alueina, joten metsän lisäkasvun laskennassa näistä muodostuvat tuhkalannoituksen epäonnistumisesta aiheutuvat tappiot.

Tuhkalannoitettujen metsien lisäkasvu on keskimäärin 2 - 4 m<sup>3</sup>/v. Tämän tutkimuksen laskennoissa käytimme 4 m<sup>3</sup>/v lisäkasvua alueilla, joilla oli lannoitetta lentänyt yli 4 000 kg/ha. Alue jonne tuhkalanhoitetta lensi alle 4 000 kg/ha mutta enemmän kuin 2 000 kg/ha laskettiin 2 m<sup>3</sup> vuotuisella puuston lisäkasvulla. Lannoittumattomien alueiden kasvutappiot laskettiin 4 m<sup>3</sup>/v mukaan oletuksena se, että mikäli alue olisi voitu lannoittaa suunnitellusti, nämäkin alueet tuottaisivat lannoituksen jälkeen neljän kuutiometrin lisäkasvun vuodessa hehtaarille.

## 7.6 Metsäojjiin lentävä lannoitemäärä

Metsäojjiin lentävät lannoitemäärät laskettiin siten, että lannoittuneet pinta-alat kerrottiin alueelle leviävällä hehtaariohtaisella minimilannoitemäärällä. Todellisuudessa ojissa lannoitetta olisi enemmän, mutta tulos ilmoitetaan tuhkalanhoitteen vähimmäismäärää käyttäen.

Lannoitetyömaalla lannoituksen toteuttavan koneyrittäjän pitäisi säätää lannoitelevittimensä siten, ettei metsäojjiin lannoitetta lentäisi. Tässä tutkimuksessa tahdottiin saada selville ojiin menevää lannoitteen vähimmäismäärää, mikäli tuhkalanhoitetta levitettäisiin piittaamattomasti ja täysin vesiensuojelumääräyksistä välittämättä.

## 8 TULOKSET

Lannoituksen onnistumista kartalla (kuvat 11 - 15) kuvataan väreillä. Tumman vihreä kuvaa hyvin lannoittunutta (yli 4 000 kg/ha) aluetta ja vaalean vihreänä heikommin lannoittunut (4 000 - 2 000 kg/ha) aluetta. Tummanpunainen alue on ojiensuojavyöhykkeelle lannoittunut (yli 4 000 kg/ha) alue ja vaaleampi punainen (4 000 - 2 000 kg/ha) lannoitetta vastaanottanut alue. Lannoitusalueen sisällä olevat valkeat alueet ovat lannoittumattomia alueita. Keltainen viiva on lannoituksessa käytetty ajouraverkosto. Värikoodit ovat kaikissa kartoissa samat.

## 8.1 Lannoitekone 1

### Lannoittunut alue

Yli 4 000 kg/ha	4,876 ha
4 000 - 2 000 kg/ha	2,825 ha
Yhteensä	7,701 ha

### Lannoittumaton alue

1,776 ha

### Ojensuojavyöhykkeellä

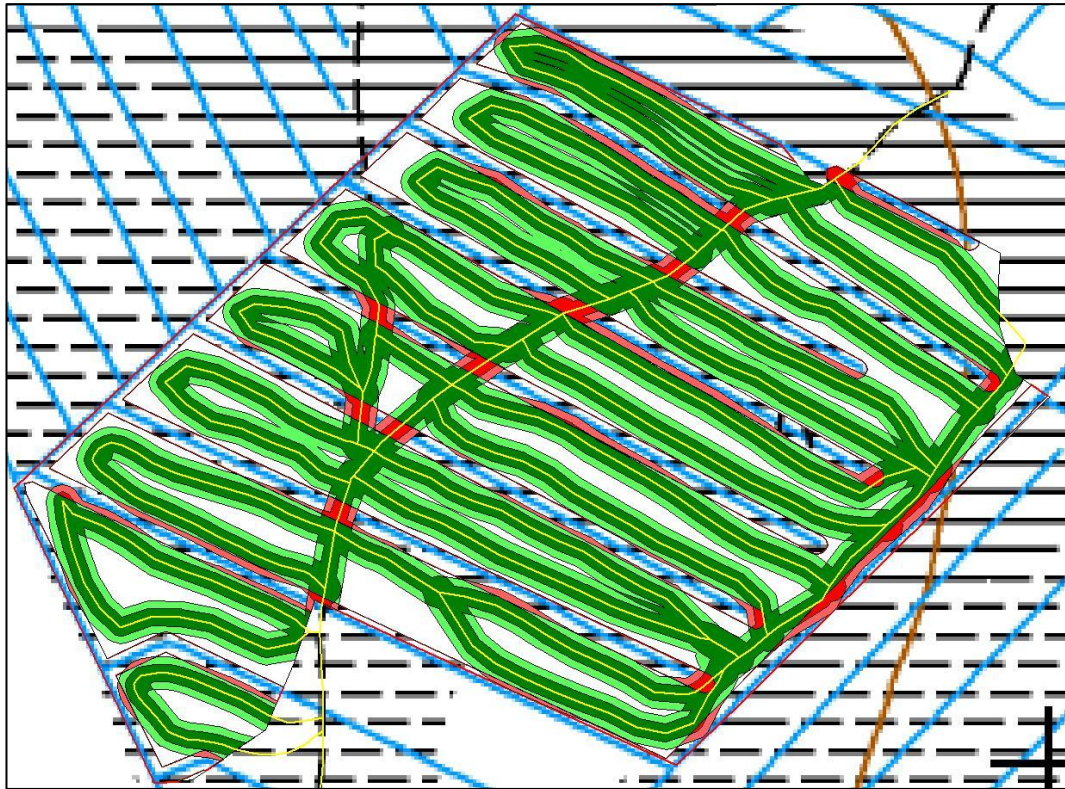
Yli 4 000 kg/ha	0,179 ha = enemmän kuin 717,2 kg
4 000 - 2 000 kg/ha	0,528 ha = enemmän kuin 1057 kg
Yhteensä	0,707 ha = enemmän kuin 1 774,2 kg

### Metsän lisäkasvu

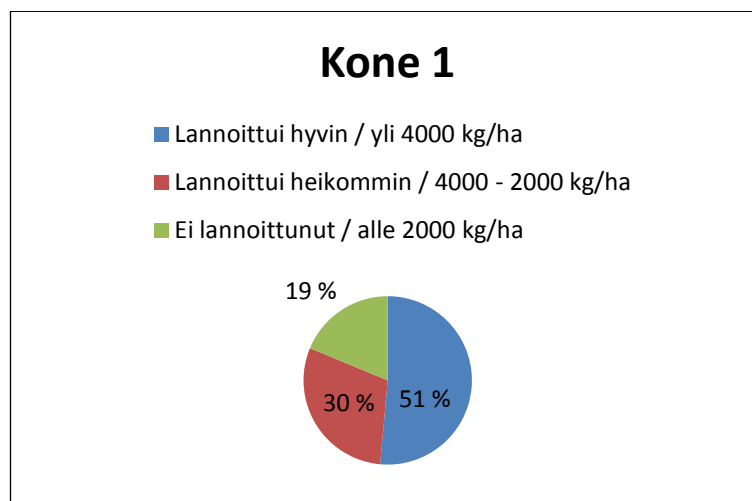
Yli 4 000 kg/ha alueella	19,504 m <sup>3</sup> /v
4 000 - 2 000 kg/ha alueella	5,65 m <sup>3</sup> /v
Lisäkasvu yhteensä	25,154 m <sup>3</sup> /v

### Saamatta jäänyt lisäkasvu

12,774 m<sup>3</sup>/v



Kuva 11 (Maanmittauslaitoksen lupa 51/MML/11. Kuva Harri Ahonen)



Diagrammi 5 (Diagrammi Harri Ahonen)

## 8.2 Lannoitekone 2

### Lannoittunut alue

Yli 4 000 kg/ha	5,517 ha
4 000 - 2 000 kg/ha	2,78 ha
Yhteensä	8,297 ha

### Lannoittumaton alue

1,18 ha

### Ojensuojavyöhykkeellä

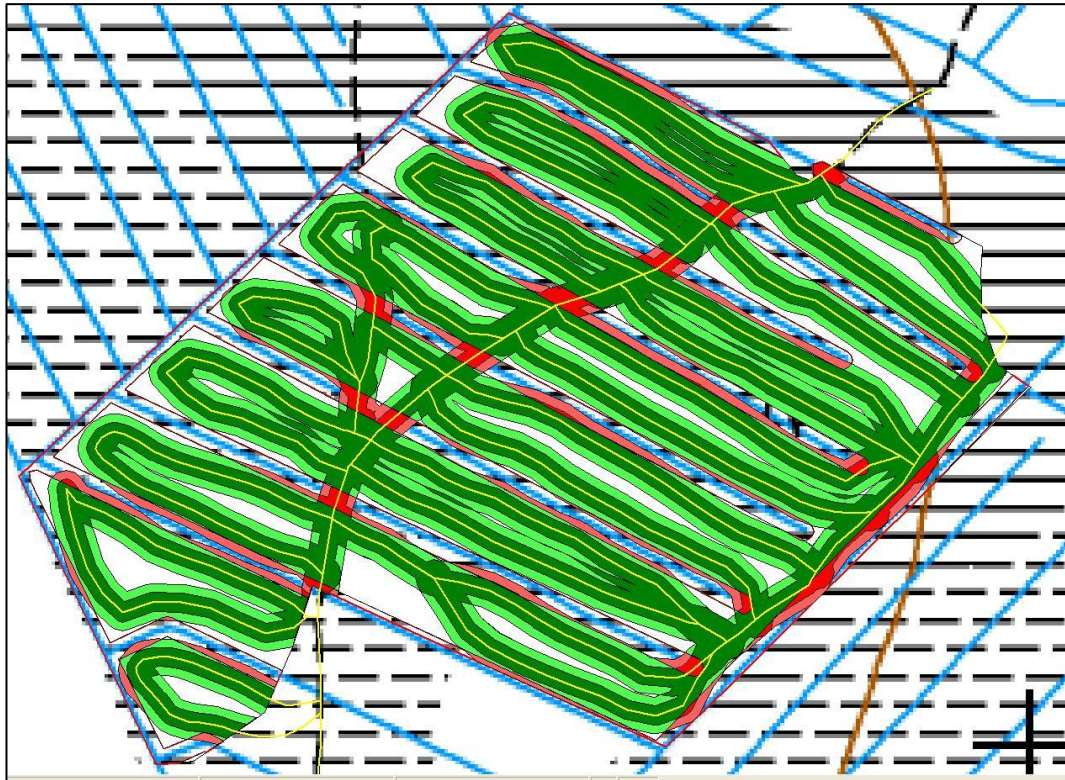
Yli 4 000 kg/ha	0,237 ha = enemmän kuin 951,6 kg
4 000 - 2 000 kg/ha	0,802 ha = enemmän kuin 1 605,6 kg
Yhteensä	1,040 ha = enemmän kuin 2 557,2 kg

### Metsän lisäkasvu

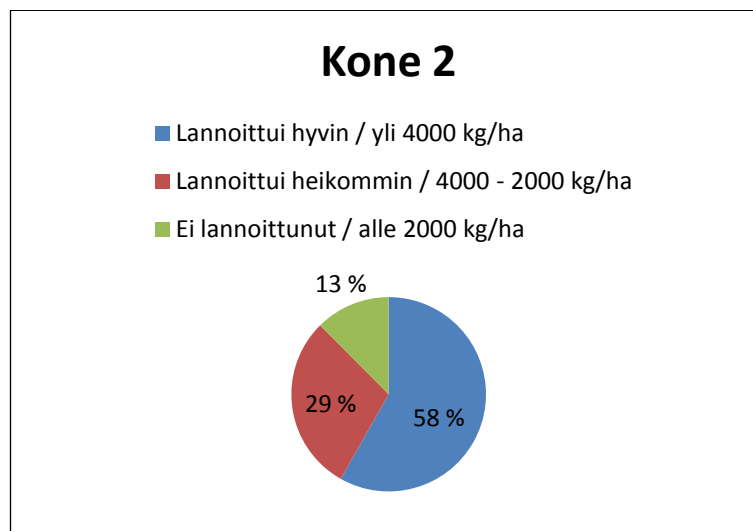
Yli 4 000 kg/ha alueella	22,068 m <sup>3</sup> /v
4 000 - 2 000 kg/ha alueella	5,56 m <sup>3</sup> /v
Lisäkasvu yhteensä	27,628 m <sup>3</sup> /v

### Saamatta jäänyt lisäkasvu

10,3 m<sup>3</sup>/v



Kuva 12 (Maanmittauslaitoksen lupa 51/MML/11. Kuva Harri Ahonen)



Diagrammi 6 (Diagrammi Harri Ahonen)

### 8.3 Lannoitekone 3

#### Lannoittunut alue

Yli 4 000 kg/ha	3,93 ha
4 000 - 2 000 kg/ha	4,016 ha
Yhteensä	7,946 ha

#### Lannoittumaton alue

1,531 ha

#### Ojensuojavyöhykkeellä

Yli 4 000 kg/ha	0,154 ha = enemmän kuin 616,4 kg
4 000 - 2 000 kg/ha	0,673 ha = enemmän kuin 1 347,2 kg
Yhteensä	0,827 ha = enemmän kuin 1 963,6 kg

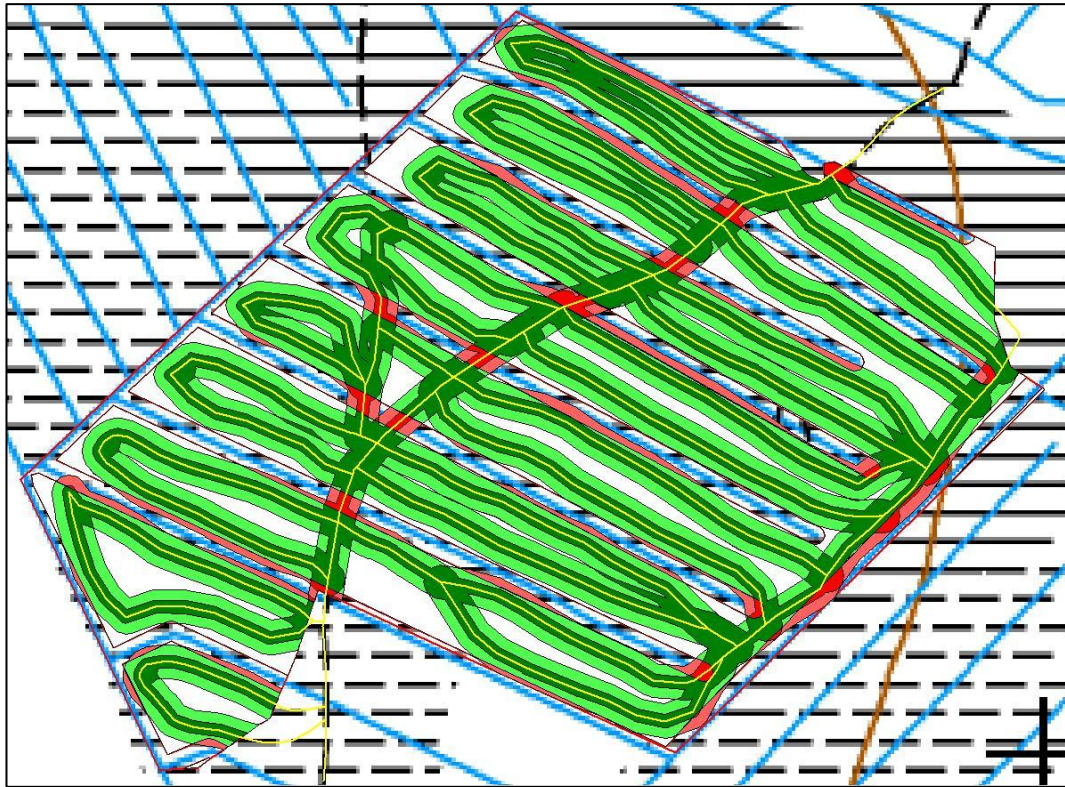
#### Metsän lisäkasvu

Yli 4 000 kg/ha alueella	15,72 m <sup>3</sup> /v
4 000 - 2 000 kg/ha alueella	8,032 m <sup>3</sup> /v
Lisäkasvu yhteensä	23,752 m <sup>3</sup> /v

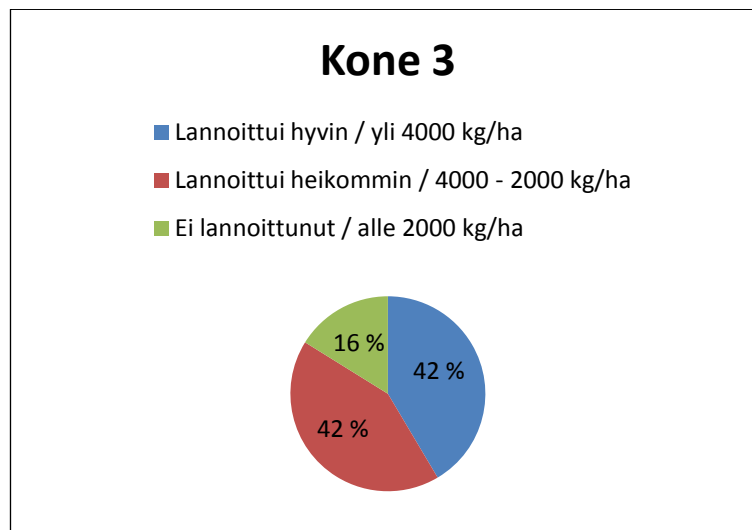
#### Saamatta jäänyt lisäkasvu

14,176 m<sup>3</sup>/v





Kuva 13 (Maanmittauslaitoksen lupa 51/MML/11. Kuva Harri Ahonen)



Diagrammi 7 (Diagrammi Harri Ahonen)



#### 8.4 Tehtaan 1 tuotteella toteutettu tuhkalannoitus

##### Lannoittunut alue

Yli 4 000 kg/ha	4,195 ha
4 000 - 2 000 kg/ha	3,472 ha
Yhteensä	7,669 ha

##### Lannoittumaton alue

1,882 ha

##### Ojensuojavyöhykkeellä

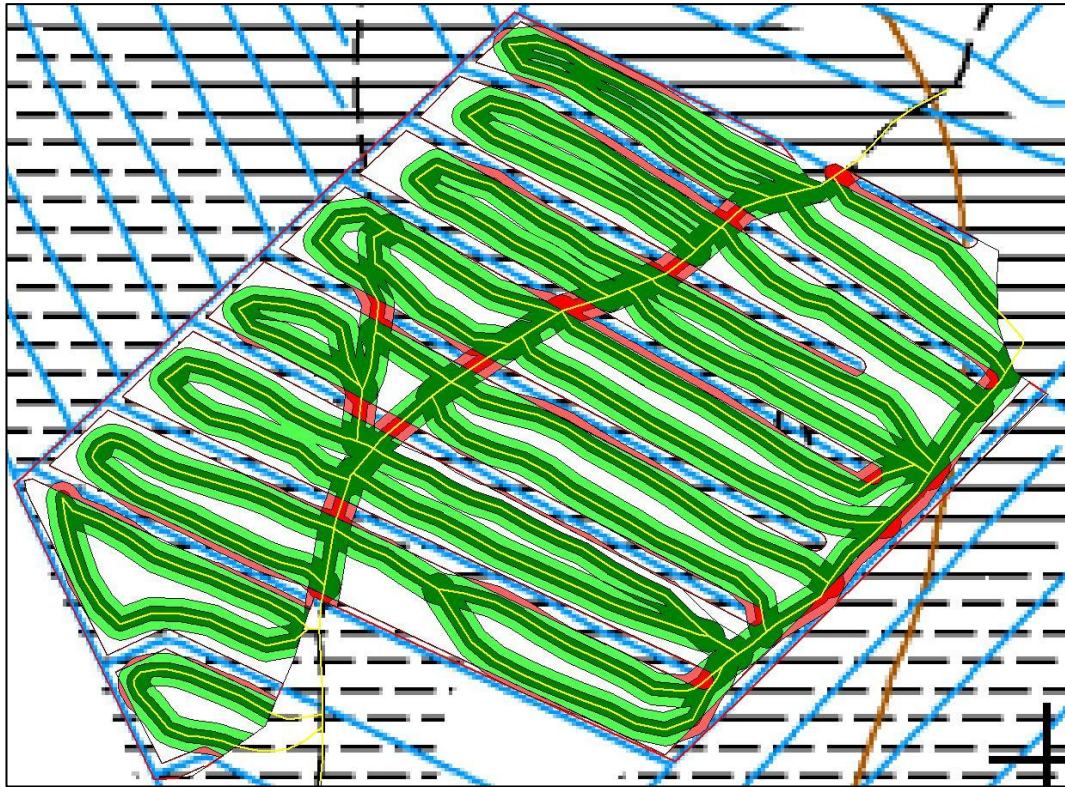
Yli 4 000 kg/ha	0,152 ha = enemmän kuin 608 kg
4 000 - 2 000 kg/ha	0,543 ha = enemmän kuin 1 086,2 kg
Yhteensä	0,695 ha = enemmän kuin 1 694,2 kg

##### Metsän lisäkasvu

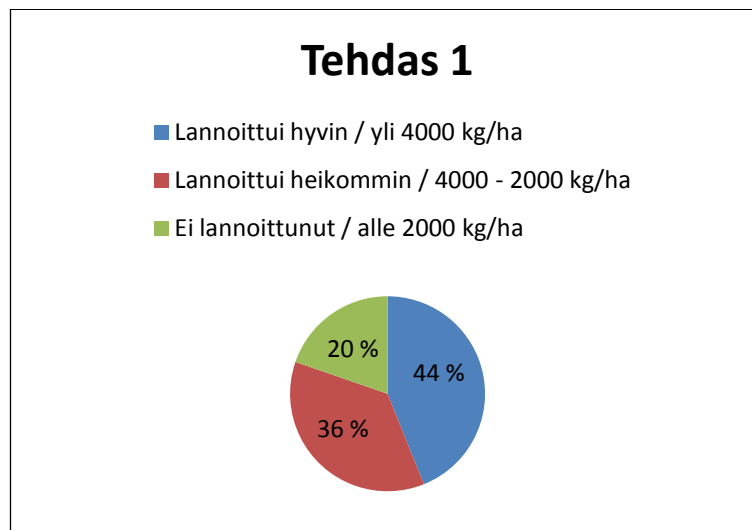
Yli 4 000 kg/ha alueella	16,78 m <sup>3</sup> /v
4 000 - 2 000 kg/ha alueella	6,944 m <sup>3</sup> /v
Lisäkasvu yhteensä	23,724 m <sup>3</sup> /v

##### Saamatta jäänyt lisäkasvu

14,2 m<sup>3</sup>/v



Kuva 14 (Maanmittauslaitoksen lupa 51/MML/11. Kuva Harri Ahonen)



Diagrammi 8 (Diagrammi Harri Ahonen)

## 8.5 Tehtaan 2 tuotteella toteutettu tuhkalannoitus

### Lannoittunut alue

Yli 4 000 kg/ha	6,342 ha
4 000 - 2 000 kg/ha	2,213 ha
Yhteensä	8,555 ha

### Lannoittumaton alue

0,922 ha

### Ojien suojausvyöhykkeellä

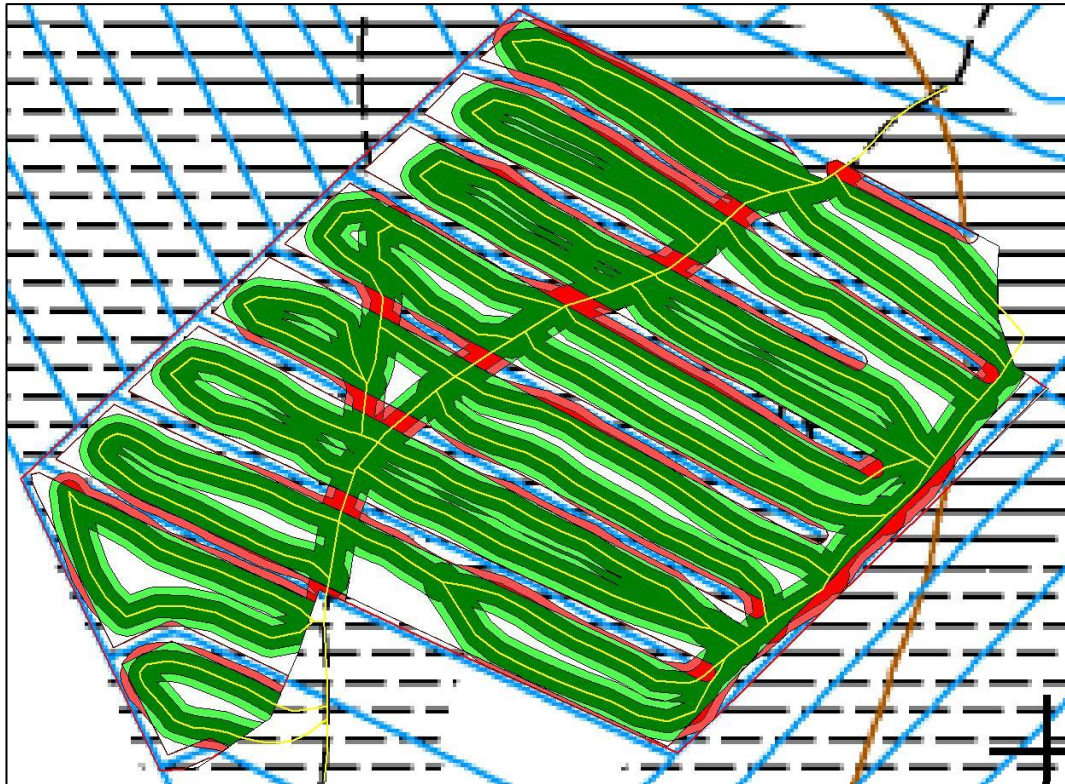
Yli 4 000 kg/ha	0,329 ha = enemmän kuin 1 319,6 kg
4 000 - 2 000 kg/ha	0,920 ha = enemmän kuin 1 840,8 kg
Yhteensä	1,250 ha = enemmän kuin 3 160,4 kg

### Metsän lisäkasvu

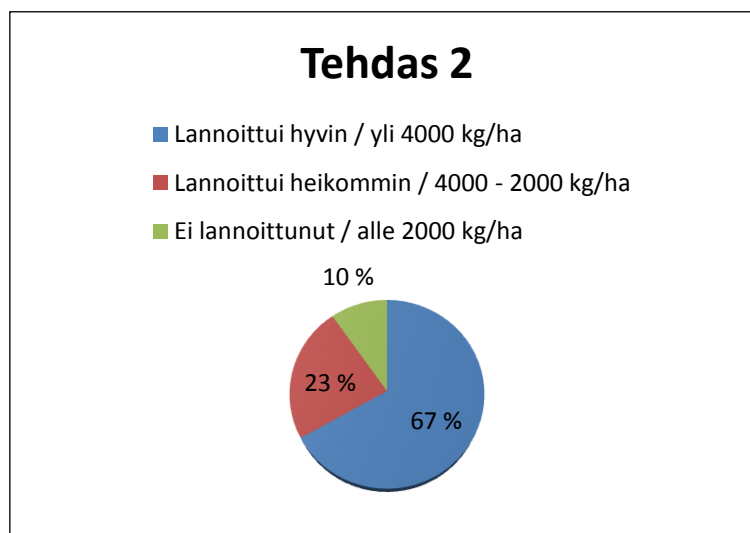
Yli 4 000 kg/ha alueella	25,368 m <sup>3</sup> /v
4 000 - 2 000 kg/ha alueella	4,426 m <sup>3</sup> /v
Lisäkasvu yhteensä	29,794 m <sup>3</sup> /v

### Saamatta jäänyt lisäkasvu

8,134 m<sup>3</sup>/v

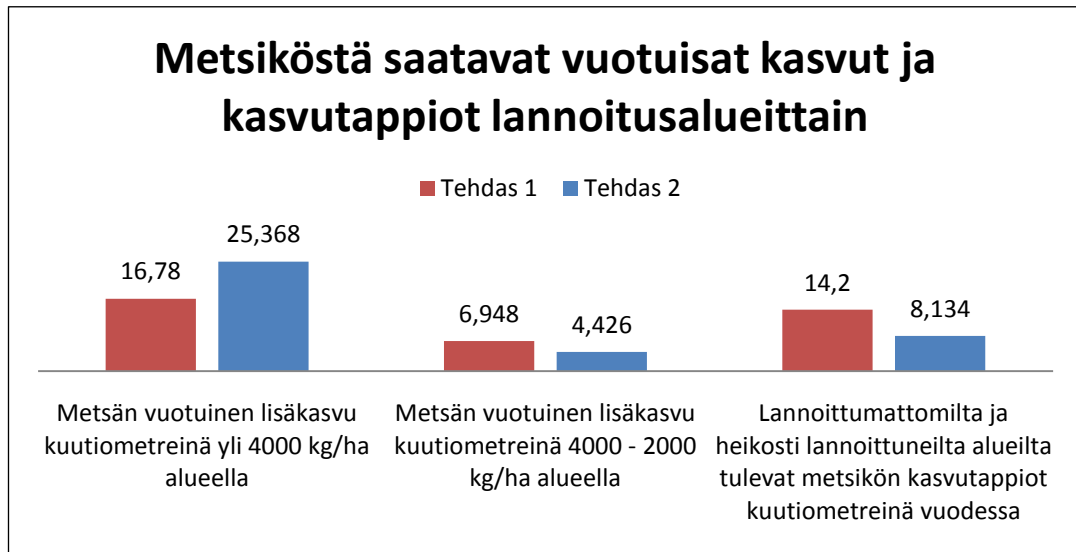


Kuva 15 (Maanmittauslaitoksen lupa 51/MML/11. Kuva Harri Ahonen)

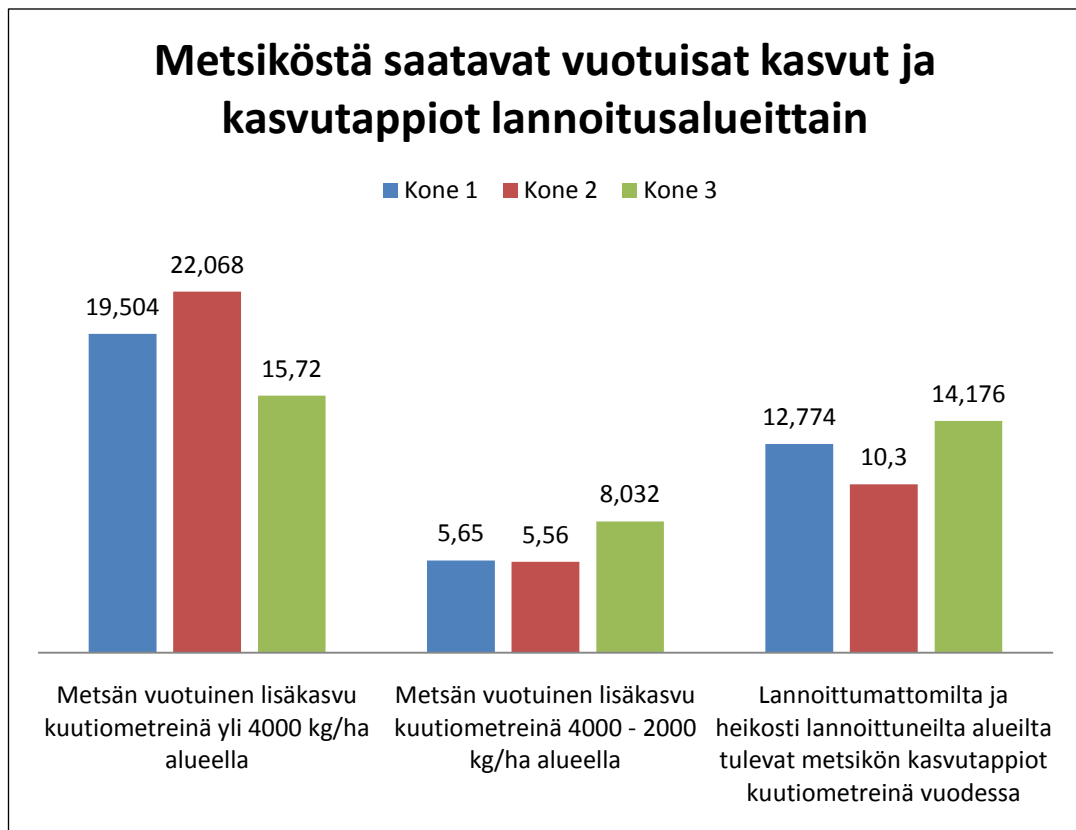


Diagrammi 9 (Diagrammi Harri Ahonen)

## 8.6 Metsiköstä saatavat vuotuiset puustonkasvut



Diagrammi 10 (Diagrammi Harri Ahonen)

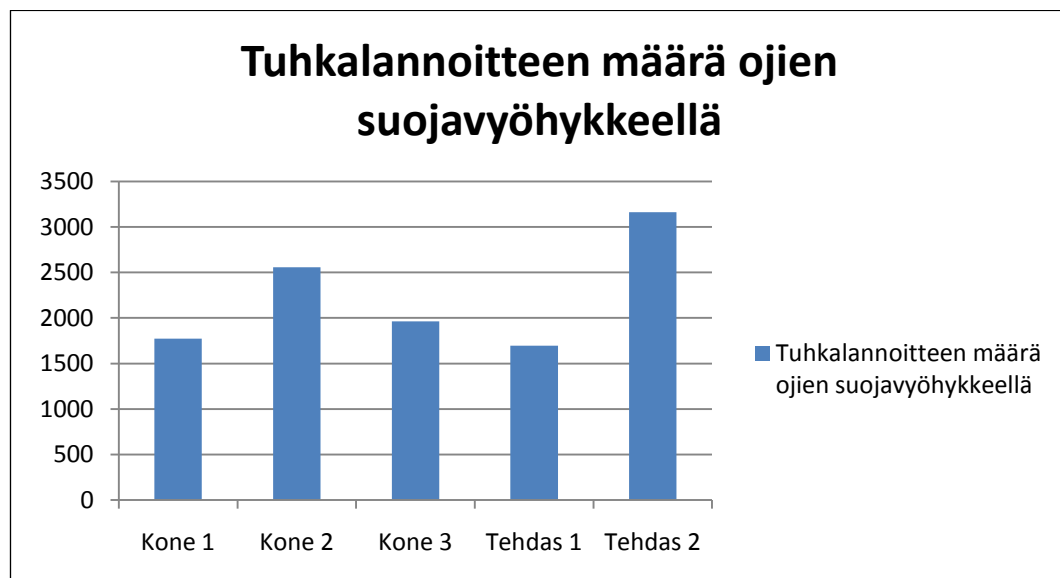


Diagrammi 11 (Diagrammi Harri Ahonen)



Diagrammi 12 (Diagrammi Harri Ahonen)

## 8.7 Tuhkalannoitteen määrä ojien suojavyöhykkeellä



Diagrammi 13 Tuhkalannoitteen määrä minimissään ojien suojavyöhykkeillä kiloina, mikäli tuhkalannoitetta levitetään piittaamatta vesiensuojelu määräyksistä (Diagrammi Harri Ahonen)

## 9 TULOSTEN TARKASTELU

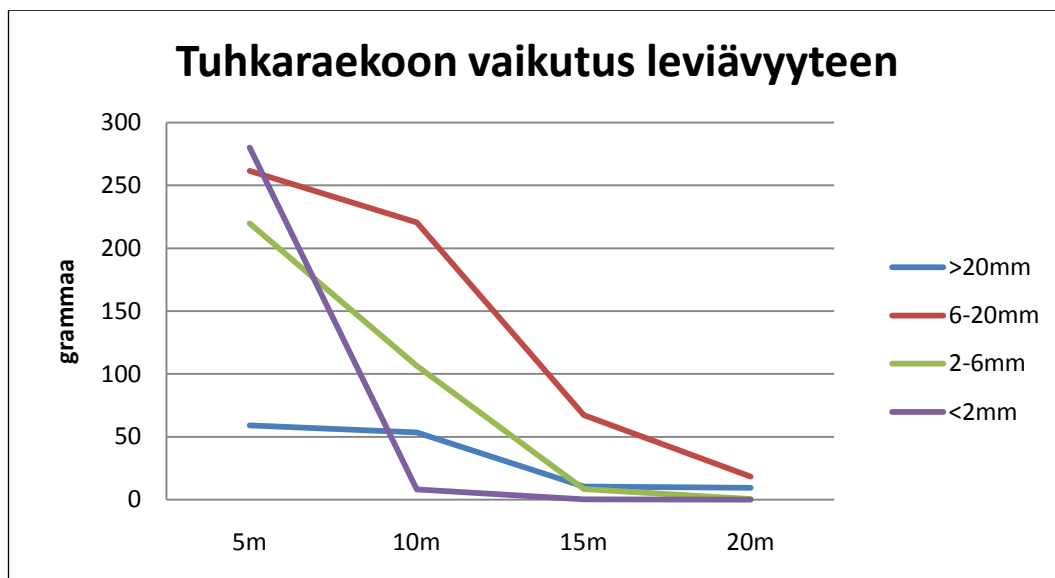
### 9.1 Maakonekylvön kokonaisarviointi

Tuhkalannoituskohteella suunniteltua tuhkalannoitus alaa oli 12,34 ha. Ojien suoja-  
vyöhykkeet veivät suunnitellusta lannoitus-alasta 2,858 ha, joten oikeasti lannoitettavaa  
alaa jäi jäljelle 9,482 ha. Tällä lannoitus-alalla voitaisiin puustonkasvua lisätä hyvin on-  
nistuneella tuhkalannoituksella neljän kuutiometrin keskimääräisellä lisäkasvulla 37,928  
m<sup>3</sup> vuodessa ja tuhkalannoituksen 40 vuoden vaikutusaikana 1 517,12 kuutiometriä.

Tuhkalannoittamalla alue metsäkoneen päälle rakennetulla lannoitelevittimellä harven-  
nuksessa syntyneeltä ajouraverkostolta saatiin tuhkalannoitetta levitettyä hyvin (yli 4  
000 kg/ha) keskimäärin 4,774 ha, heikommin (3 999 – 2 000 kg/ha) 3,207 ha. Kokonaan  
lannoittumattomia alueita jäi keskimäärin 1,188 ha lannoitettavasta 9,482 hehtaarin ko-  
konaisalasta.

Tällaisella keskimääräisellä maakonelannoitustuloksella saadaan 25,51 kuutiometrin  
vuotuinen lisäkasvu tutkimuksessa käytetyltä lannoitus-alalta. Puuston lisäkasvua jäi  
huonon levitystuloksen vuoksi saamatta keskimäärin 12,418 kuutiometriä vuodessa.  
Tuhkalannoitteen vaikutusaika on ainakin 40 vuotta, joten kokonaisuudessaan lannoit-  
teen vaikutusajalta jää saamatta keskimäärin 496,48 m<sup>3</sup> puuta. Määrä vastaa pyöreästi  
noin kymmentä puutavara-auton kuormaa

Tutkimus ei osoittanut selkeästi minkään tutkimuksessa käytetyn tuhkalannoituskoneen  
ylivoimaisuutta. Suurimmat erot syntyivät eri tehtaissa valmistettujen tuhkien leviä-  
misessä. Tehtaassa 1 valmistetussa tuhkarakeessa hienoaineksen runsasmäärä oli selväs-  
ti havaittavissa punnituksen yhteydessä. Hienoaines ei lennä pienen massan takia riittä-  
vän kauas lannoitekoneesta (diagrammi 14), vaan jää pölynä leijumaan lähelle ajouraa.  
Tehtaassa kaksi valmistettu tuhkalannoite oli selkeästi rakeisempaa, ja tuhkarakeet len-  
sivät painonsa ansiosta kauemmaksi lannoitekoneesta ja näin ollen lannoitus onnistui  
paremmin laajemmalle alueelle.



**Diagrammi 14 Tuhkaraekoon vaikutus leviävyys etäisyyteen, X-akselilla etäisyys lannoituskoneesta (Diagrammi Mikko Räisänen)**

Käyttämällä tehtaassa 2 valmistettua tuhkalannoitetta saatiin tutkimuksessa käytettävältä alueelta 6,066 kuutiometriä parempi vuotuinen puuston kasvu kuin lannoittamalla alue tehtaassa 1 tuhkalannoitteella. Tuhkalannoitteen 40 vuoden vaikutusaikana tehtaassa 2 valmistetulla tuhkalannoitteella saadaan tältä 9,482 hehtaarin lannoitusalueelta kasvatettua 242,64 m<sup>3</sup> enemmän puuta kuin tehtaassa 1 valmistetulla tuhkalannoitteella. Erot puuston kasvussa 40 vuoden aikana ovat jo miltei viiden puutavara-autokuorman verran, joten tarkasteltaessa tuloksia lannoitteen kokonaisvaikutusajalla erot ovat jo merkittäviä.

## 9.2 Ajouraverkoston arviointi

Merkittävimmät tekijät lannoituksen onnistumiseksi oli tässä tutkimuksessa ajouraverkoston kattavuus. Tuhkalannoitteen levitys suoritetaan maakoneella ensiharvennuksen yhteydessä syntyneeltä ajouraverkostolta, joten ajouraverkosto on kattavan lannoituksen perusta.

Tarkasteltaessa ajouraverkostoa lannoitusalueella voidaan nähdä, ettei ajouria oltu hakattu kaikkien sarkojen päähän asti. Tämä oli merkittävin syy lannoittumattomien alueiden syntymiseen. Toinen merkittävä seikka ajouraverkostoa tarkastellessa oli, että leveillä



saroilla olisi kattavan tuhkalannoitustuloksen saavuttamiseksi ajourien määrää pitänyt lisätä.

Tutkimuksesta voidaan havaita se, että ajouraverkostolta jolta on suoritettu ensiharvennus, ei välttämättä voida suorittaa kattavaa tuhkalannoitusta. Tuhkalannoitustyömailla harvennuksen ajouraverkosto tulisikin hakata lannoitusta ajatellen siten, että lannoituskoneella olisi mahdollista kiertää koko tuhkalannoitustyömaa. Tämä tarkoittaa sitä, että harvennuksen yhteydessä hakataan ajourat sellaisiinkin kohtiin joihin ei välttämättä harvennuksessa tarvitsisi muuten kajota. Tässä tutkimuksessa ajouraverkosto ei kattanut lannoitettavaa alaa riittävästi, joten lannoituskoneilla ei ole mahdollista suorittaa tuhkalannoitusta kattavasti kaikkialle. Lannoitusosalalle jäi lannoittumattomia alueita, joiden määrää voitaisiin vähentää hakkaamalla ajourat esimerkiksi aina sarkojen päähän asti ja lisäämällä leveimpiin kohtiin ajouria.

### **9.3 Ojien suojavaähyäkeille lentävä tuhkalannoitteen määrä**

Ojien suojavaähyäkeelle lentävä tuhkalannoitteen määrä olisi yllättävän suuri mikäli, lannoituksen yhteydessä ei noudatettaisi vesiensuojelumääräyksiä. Piittaamattoman levityksen seurauksena tuhkalannoitetta ojien suojavaähyäkeellä olisi heikoimmalla lannoituksella vähintään 1 694, 2 kg ja parhaiten leviävällä tuhkalannoituksella vähintään 3 160,4 kg. Määrät on arvioitu minimilevitysmääriä käyttäen, ja todellisuudessa määrät olisivat huomattavasti suuremmat. Tässä opinnäytetyössä todellisten määrien selvittäminen rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Ojien suojavaähyäkeelle levitetyn tuhkalannoitteen määrä on siis teoreettinen ja tutkimustuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon se, että ojien suojavaähyäkeelle ei välttämättä oikeassa lannoitustyössä mene lannoitetta lainkaan. Tutkimuksesta selviää ainoastaan millaisia vähimmäismääriä tuhkalannoitetta voi ojien suojavaähyäkeelle mennä, mikäli tuhkalannoitetta levitetään piittaamatta vesiensuojelumääräyksistä. Lannoite-konekuljettajan taito säätää tuhkalannoitteen levityslevyettä ajon aikana on merkittävin tekijä lannoituksen yhteydessä ojien suojavaähyäkeelle lentävään tuhkan määrään.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksella selvitettiin kuinka tuhkalannoitteen maakonekylvö tällä hetkellä toteutuu. Tulosten perusteella tuhkalannoitus onnistuu tavoiteltuun lannoitemäärään 4,29 metrin päähän ajouralta ja tuhkalannoitetta on vielä yli 2 000 kg/ha 8,78 metrin päässä ajourasta. Maakoneella tuhkalannoitetta levitetään yleensä yhtä aikaa molemmille puolille ajouraa, joten hyvin onnistunutta tuhkalannoitusta saadaan kerta ajolla levitettyä 8,58 m leveä vyöhyke, ja heikommin lannoittunutta aluetta 17,56 m leveä vyöhyke. Kahdenkymmenen metrin välein oleva ajouraverkosto ei riitä täysin kattavan tuhkalannoituksen onnistumiseen, vaan väliin jää 2,44 metriä leveä alue jossa tuhkalannoitetta olisi alle 2 000 kg/ha.

Tuhkalannoitteen maakonekylvö harvennuksen yhteydessä syntyneeltä ajouraverkostolta voidaan toteuttaa kuitenkin kohtalaisen hyvin, kunhan ajouraverkosto hakataan harvennuksen yhteydessä tuhkalannoitteen maakonekylvöä ajatellen. Kattava ajouraverkosto on maakonekylvön onnistumisen perusta ja tuhkalannoitustyömaalle ei saa jäädä sellaisia alueita joihin ei lannoituskoneella pääse. Ajourat tulisi hakata aina sarkojen päähän asti vaikka puusto ei harvennusta kaipaisikaan. Myös leveille saroille olisi hyvä lisätä ajouramääriä kattavan lannoitustuloksen aikaan saamiseksi. Tutkimuksen kohteena olevalla työmaalla ei näin ollut toimittu, ja lannoittumattomia alueita jäi tämän seikan johdosta merkittävän paljon. Ajouraverkoston puutteista johtuen ei lannoitusta saatu toteutettua tutkimuksen kohteena olevalta lannoitusosalalla suunnitellusti. Heikolla lannoituksella metsiköstä saatava puuston määrä vähenee suunnitellusta ja lannoituksen taloudellinen tuotto laskee.

Lannoitekoneiden levityslautasia ei lukittu tässä tutkimuksessa samaan kierrosnopeuteen, joten koneista ei voida sanoa luotettavasti millä koneella voidaan lannoittaa parhaiten tai millä huonoiten. Lannoitekoneiden kuljettajat pyrkivät levittämään tuhkalannoitetta tavoiteltuun 4 000 kg/ha lannoite määrään. Tuloksissa olevat erot johtuvat siitä, että kuljettajien kyky saavuttaa tavoiteltu lannoitemäärää vaihtelee. Tutkimusaineistoa kerätessä huomasimme, että lannoituskoneella jolla levitettiin tämän tutkimuksen heikoin tulos, voitiin levittää tuhkalannoitetta myös eniten. Tutkimukseen koeala jouduttiin hylkäämään epätavallisen suuren lannoitustuloksen takia.

Lannoitteen määrä ja leviävyys määritellään levitinlautasten ja lannoitesäilössä olevan syöttö hihnan nopeuksien mukaan. Lannoitekoneiden erot tuhkalannoitteen levityksessä olivat loppujen lopuksi pieniä siihen nähden, että koneen kuljettajilla ei ole kovinkaan tarkkoja menetelmiä lannoitustyönsä seuraamiseen.

Kuljettajan omaan levitysmäärän seuraamismahdollisuuteen tulisikin jatkossa kiinnittää enemmän huomiota. Tällä voitaisiin karsia kuljettajista johtuvia lannoitustyön laadun vaihteluita.

Suurin tekijä tuhkalannoituksen maakonekylvön onnistumiseen on levityksessä käytetty tuhkalannoitteen laatu. Tutkimukseen mukana olleet kaksi tuhkalannoitetta valmistettiin eri tehtaissa. Molemmissa tehtaissa olivat käytössä erilaiset tuhkanrakeistusprosessit. Tehtaassa 1 valmistettu tuhkalannoite oli silmin nähden hienojakoisempaa verrattuna tehtaassa 2 valmistamaan tuhkalannoitteeseen. Kevyt pölymäinen tuhkalannoite ei lentänyt pienen massan takia riittävän kauaksi levitin koneesta vaan jäi leijumaan lähelle ajouraa. Tehtaassa 2 valmistettu tuhka oli rakeista ja levitystulokset huomattavasti paremmat, kuin tehtaassa 1 valmistetulla tuhkalannoitteella. Tuhkalannoitteen laatu on tärkeää hyvän lannoitelevitystuloksen aikaan saamiseen ja tehtaassa 1 tulisi siirtyä samankaltaiseen tuhkan rakeistamiseen kuin tehtaassa 2.

## 11 TULOSTEN ARVIOINTI

Tämän kaltaista tutkimusta, jossa lannoituksen onnistumista arvioidaan paikkatietojärjestelmässä, ei ole tietääkseni aiemmin vielä tehty. Aineistonkeräys ja tutkimusaineiston käsittely onnistuivat lähestulkoon suunnitellusti.

Tutkimusaineiston keräyksessä oli jonkin verran ongelmia, eikä koealoja saatu aivan suunniteltuja määriä. Joissakin tapauksissa lannoitekoneen kuljettajat ajoivat koealalenttään tavallista hitaammin ja lannoittivat kentän normaaliin kylvöön nähden huomattavasti runsaammin, jonka seurauksena muutamia koealoja jouduttiin hylkäämään. Tämän johdosta tutkimukseen kelpuutettujen koealojen määrät vaihtelivat eri lannoituskoineilla. Joissakin tapauksissa koealojen vähäinen määrä saattaa vaikuttaa jonkin verran

tutkimuksen luotettavuuteen, mutta en usko sen vaikuttavan kuitenkaan kovin merkittävästi tutkimuksen lopulliseen tulokseen.

Tutkimuksen alkuperäistä suunnitelmaa jouduttiin myös muuttamaan konevertailujen osalta, koska Fa Forest Oy:n kehittelemästä lannoituskoneesta ja sen ominaisuuksista ei saatu julkaisulupaa. Näin ollen jätin koneiden teknisen vertailun tutkimuksesta kokonaan pois ja keskityin pelkästään tuhkalannoitteiden leviävyyksien vertailuun, sekä siihen kuinka tuhkalannoitus onnistuu maakonekylvönä.

Aineiston keruun yhteydessä huomasimme, että koneiden vertailun suorittamiseksi tulisi koneiden levitinlautasten nopeudet ja lannoitesäilönnihnan purkunopeus kalibroida samaksi, jotta koneiden erot voitaisiin tutkia luotettavasti. Tässä tutkimuksessa mukana olleista lannoituskoneista ei voida sanoa mikä on paras ja mikä on huonoin lannoitekone, eikä se ollut tämän tutkimuksen tarkoituksaan. Merkittävin tekijä tuhkalannoituksen onnistumiseen on koneenkuljettajan kokemus säätää lannoitekoneesta tuleva tuhkan määrä oikeaksi. Tässä tutkimuksessa ei säädetty lannoituskoneiden tuhkalannoitteen syöttöjä samaan voimakkuuteen vaan pyydettiin kuljettajaa levittämään tuhkalannoitetta normaaliin levitystyylisiin, joten tämän tutkimuksen tulokset vastannevat hyvin pitkälle todellisuudessa tapahtuvaa tuhkalannoitustyötä.

Tässä tutkimuksessa lannoituksella saatavat puuston kasvujen laskentamallit ovat hyvin teoreettisia. Emmekä voi tietää kuinka puusto reagoi lannoitukseen esimerkiksi jos tuhkalannoitetta on vielä viiden metrin päässä rungolta tavoiteltu 4 000 kg/ha. Yltävätkö juuret lannoittuneelle alueelle ja kasvavatko puut yhtä voimakkaasti esim. vielä viiden metrin etäisyydellä lannoittuneelta alueelta? Tämä seikka vaatisi lisätutkimuksia, jotta lannoituksen tuottama lisäkasvu voitaisiin arvioida luotettavammin. Arvioitu lisäkasvun määrän suhde saamatta jääneen kasvun määrään kuvanee kuitenkin realistisesti lannoitelevityksen vaikutuksia puustonkasvuun.

## LÄHTEET

- Fa forest Oy. 2010. Ravinteet metsätuhkassa.  
<http://www.ecolan.fi/tuotteet/metsatuhkat/t-4000> (viitattu 17.3.2010)
- Finér, L, Leinonen, A & Jauhiainen, J, 1996. Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa Metla.
- Havas, P. 2007. Ihminen muuttaa luontoa.  
<http://www oulu.fi/northnature/finnish/Suomi/ekologia7.html#pellot>  
 (viitattu 26.2.2010)
- Issakainen, J & Moilanen, M, 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportti 162.
- Knuutila, J, Siirilä, P & Valta, K. 2010. Lannoiteurakoitsija. Lannoiteurakoitsijoiden puhelinhaastattelu 15.3.2010
- Kukkola, M & Saarisalmi, A, 2009. Metsätieteen aikakausikirja 1/2009, Metsäntutkimuslaitos. Vantaa.  
<http://www.metla.fi/aikakausikirja/full/ff09/ff091063.pdf> (viitattu 17.3.2010)
- Maa- ja metsätalousministeriö, asetus nro 19/09.  
<http://www.finlex.fi/data/normit/34705-09019fi.pdf> (viitattu 1.4.2010)
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, 2008. Tuhkalannoitus. Porvoo: Metsäkustannus Oy.
- Nieminen, M. 2010. Soiden metsätalouskäytön vesistövaikutukset ja vesiensuojelu. Metsäntutkimuslaitos. Vantaa. <http://www.metla.fi/hanke/3485/> (viitattu 1.4.2010)
- Räisänen, M. 2010. Kehittämispäällikkö. Fa Forest Oy. suullinen tiedonanto 2.3.2010
- Virtanen, J, 1975. Lannoitustasaisuus metsänlannoituksessa. Helsinki: Valtionpainatuskeskus
- Wikipedia vapaa tietosanakirja. 2010. Kaskiviljely.  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kaskiviljely> (viitattu 26.2.2010)

**Diagrammit**

**1 ja 2** Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, 2008. Tuhkalannoitus. Porvoo: Metsäkustannus Oy, 15.

**14** Räisänen, M. 2010. Kehittämispäällikkö. Fa Forest Oy.

# LITE



## LANNOITUSTASAISUUDEN MITTAUS

Mittaaja	
Päiväys	

Metsänomistaja		Levituskone		Suppilosarja		Lannoituskohte	
Työmaa		Levitintyyppi		Tavoite		kg/h	Kivennäisma
Urakoitsija		Kuljettaja		± 50% raja-arvot		kg/h	Turvemaa

Sarja	Koesarjan mittaussuppilon nro										Reittinro		Alkupiste	Loppupiste
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	kg/ha													
Lannoitemäärä														
Vallitseva rl											Huomioita			
Alik rl														
Kuusi rl														
Lannoitemäärä														
Vallitseva rl											Huomioita			
Alik rl														
Kuusi rl														
Lannoitemäärä														
Vallitseva rl											Huomioita			
Alik rl														
Kuusi rl														

### HUOMIOT

Ojasuppilo ympyröity, RL mittauspiste ympyröity RL riville